

Computersimulationen zu Mechanik und Straßenverkehr in der gymnasialen Oberstufe

Entwicklung und Erprobung eines Lehr-Lern-Konzeptes
einschließlich interaktiver, multimedialer Modellbildungssoftware
für die Mechanik der gymnasialen Oberstufe
am Kontext „Teilnahme am Straßenverkehr“

Vom Fachbereich Physik der Universität Duisburg-Essen
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Pädagogik
genehmigte Dissertation

von

Alexander Busse

aus

Mülheim an der Ruhr

Referent: Prof. Dr. Norbert Treitz

Korreferent: Prof. Dr. Hans-Peter Musahl

Tag der mündlichen Prüfung: 07. August 2006

Kurzfassung

Junge, insbesondere männliche Fahranfänger¹ werden überproportional häufig in Verkehrsunfällen verletzt oder getötet. Aus diesem Grund haben unter anderem weiterführende Schulen und die Verkehrssicherheitsberater der Polizei den Auftrag, geeignete präventive Maßnahmen durchzuführen.

Auf der anderen Seite besteht das Problem, dass der Physikunterricht gerade in der Sekundarstufe II bei der Mehrheit der Schüler zu den unbeliebtesten Schulfächern gehört, da sie kaum Bezüge zu ihrer eigenen Lebenswelt sehen und sie zusätzlich von den mathematischen Anforderungen abgeschreckt werden.

In der vorliegenden Arbeit wird ein Gesamtkonzept vorgestellt, das beide Problemhintergründe berücksichtigt und aus zwei Komponenten besteht:

Erstens wird eine Lernsoftware entwickelt. Sie besteht aus unabhängigen Inhaltskomponenten, in denen physikalische Inhalte anhand von Problemen aus dem Straßenverkehr vermittelt werden. Dabei werden zwei aktuelle Ansätze der Lernsoftwareentwicklung aufgegriffen und zusammengeführt: Die graphische Modellbildung und die interaktive Computersimulation. Jede Inhaltskomponente verfügt über einen Modelleditor mit einer für physikalische Probleme optimierten Symbolsprache, über animierte graphische Darstellungen von Verkehrssituationen und zeitgleich entstehende, flexible Diagramme, um so das didaktische Potential beider Ansätze zu bündeln und zu erweitern.

Zweitens wird ein Unterrichtskonzept entworfen, welches konsequent auf den Straßenverkehr als lebensweltlichen Kontext bezogen ist und die erwähnte Lernsoftware einbezieht. Damit lassen sich einerseits interessante und komplexe Themen aus dem Straßenverkehr mit mathematisch überschaubarem Aufwand lösen, andererseits werden die Schüler mit Medien und Methoden aktueller physikalischer Forschung konfrontiert. Die Unterrichtsreihe beginnt und endet mit Besuchen der Verkehrssicherheitsberater der Polizei. Dazwischen beschäftigen sich die Schüler mit einem polizeilichen Unfallbericht. Dabei wird der Unfallhergang analysiert und am Ende mittels geeigneter physikalischer Modelle mit der Lernsoftware simuliert. Die erforderlichen physikalischen Kenntnisse erwerben sie in Schülerversuchen, die in Lernstationen durchgeführt werden.

Exemplarisch wird das Unterrichtskonzept für das Thema „geradlinige Bewegungen“ ausgearbeitet und in der Jahrgangsstufe 11 verschiedener Schulformen eingesetzt. Anschließend werden Lernsoftware und Unterrichtsreihe evaluiert, indem die beteiligten

¹ Wenn in dieser Arbeit Funktionsbezeichnungen wie Fahranfänger, Schüler, Lehrer oder Wissenschaftler verwendet werden, so sind immer Personen beiderlei Geschlechts gemeint, sofern nicht explizit geschlechtsspezifische Unterschiede diskutiert werden. Dies soll zur Übersichtlichkeit und Lesbarkeit beitragen und selbstverständlich niemanden diskriminieren.

Schüler und eine unbeteiligte Vergleichsgruppe einen Fragebogen bearbeiten und die Ergebnisse beider Gruppen unter verschiedenen Fragestellungen verglichen werden.

Abstract

Young drivers and especially young male drivers are disproportionately often injured or killed in road accidents. Therefore secondary schools as well as police safety advisors are instructed to take suitable preventative measures.

But at the same time there is also the problem that for the majority of pupils physics belongs to the most unpopular subjects on secondary school level, because they can see hardly any relation between the contents of this subject and their everyday life. Additionally they are frightened by its mathematical requirements.

This paper introduces an overall concept taking into consideration both of these facts and consisting of two parts:

First of all an educational software has been developed. It consists of several independent elements which try to convey physical contents to pupils based on problems taken from the world of traffic. By doing so two topical approaches to the development of educational software are taken up and brought together: Diagrammatic modelling and interactive computer simulation. Each element has its own model editor with a symbolic language that has been optimized for physical problems, with animated diagrammatic depictions of traffic situations, and with flexible diagrams being contemporaneously created in order to concentrate and expand the didactic potential of both approaches.

Secondly a draft for physics lessons is drawn up which is consistently applied to traffic as a part of our everyday life and which also includes the educational software mentioned above. With the help of this draft interesting and complex problems can be solved with a mathematically manageable expenditure and at the same time pupils are confronted with the methods of the latest physical research.

In the first as well as in the last lesson of this sequence police safety advisors are supposed to visit the classes. In between these visits the pupils deal with an accident report, they analyze what happened in this accident and simulate it with the help of the educational software and suitable physical models. They acquire the physical knowledge that is necessary by carrying out experiments themselves.

As an example this draft will be drawn up for the topic of straight movements and will be employed in sixth form classes of different secondary schools. Afterwards the educational software and the sequence of lessons itself will be evaluated. The pupils involved as well as a group of pupils who have not been involved will have to fill in a questionnaire and the results of both groups will be compared in the context of different questions.

Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG	2
ABSTRACT.....	3
INHALTSVERZEICHNIS	4
1 EINLEITUNG	12
1.1 ZUGRUNDE LIEGENDE PROBLEME.....	12
1.1.1 Lernsoftwareentwicklung.....	12
1.1.2 Physikunterricht	13
1.1.3 Verkehrssicherheitsarbeit	13
1.2 LÖSUNGSANSATZ UND ZIELSETZUNG.....	14
1.2.1 Lernsoftwareentwicklung.....	14
1.2.2 Physikunterricht	15
1.2.3 Verkehrssicherheit.....	15
1.3 PROJEKTVERLAUF IM ÜBERBLICK.....	16
2 ENTWICKLUNG EINER LERNSOFTWARE	19
2.1 THEORETISCHER HINTERGRUND.....	19
2.1.1 Lernsoftware im Allgemeinen	19
2.1.1.1 Der Computer als Medium in Lehr-Lern-Prozessen.....	19
2.1.1.2 Klassifikation aktueller Lernsoftware	20
a) Interaktive Simulationen	20
b) Interaktive Bildschirmexperimente	20
c) Graphische Modellbildungssysteme	20
d) Multimediale Informationssysteme	21
e) Tutorielle und repetitive Systeme.....	21
f) Erfassung und Auswertung von Messwerten.....	21
2.1.2 Graphische Modellbildungssysteme.....	22
2.1.2.1 Dimensionen des Modellbegriffs.....	22
a) Alltagsverständnis des Modellbegriffs.....	22
b) Modelle in den Naturwissenschaften	23
c) Modelle in der Lern- und Erkenntnistheorie.....	27
2.1.2.2 Didaktisches Potential des Modellbegriffs.....	28
2.1.2.3 Grundlegende Prinzipien der Systemdynamik	30
a) Ursprünge und Ziele der Systemdynamik	30
b) Der Begriff des dynamischen Systems	30
c) Modellierung und Simulation dynamischer Systeme	31
d) Systemdynamische Flussdiagramme.....	31
e) Numerische Iteration	33
f) Euler-Cauchy-Verfahren.....	35

g) <i>Halbschritt-Verfahren</i>	36
h) <i>Runge-Kutta-Verfahren</i>	37
2.1.2.4 Didaktisches Potential der Systemdynamik	39
2.1.3 Interaktive Computersimulationen	40
2.1.3.1 Kriterien interaktiver Computersimulationen.....	40
a) <i>Eingrenzung des Simulationsbegriffs</i>	40
b) <i>Interaktive Computersimulation als Lernsoftwarekategorie</i>	41
2.1.3.2 Didaktisches Potential interaktiver Simulationen.....	41
2.2 BESTANDSAUFNAHME	43
2.2.1 Aktuelle graphische Modellbildungssysteme	43
2.2.1.1 Hauptvertreter: Dynasys®	43
a) <i>Verbreitung und Relevanz</i>	43
b) <i>Aufbau und Menüstruktur</i>	44
c) <i>Erstellen und Bearbeiten von Modellen</i>	46
d) <i>Ausgabemöglichkeiten</i>	48
2.2.1.2 Weitere auf SD basierende Produkte	48
a) <i>Stella®</i>	48
b) <i>Powersim®</i>	49
c) <i>Vensim®</i>	50
2.2.1.3 Ein Spezialfall: Pakma® / Visedit®	51
2.2.1.4 Didaktische Bewertung	53
a) <i>Realisierte Möglichkeiten</i>	53
b) <i>Verbleibende Grenzen</i>	55
2.2.2 Aktuelle Interaktive Computersimulationen	57
2.2.2.1 Allgemeine Merkmale.....	57
a) <i>Bevorzugte Themen</i>	58
b) <i>Verbreitete Gestaltungsmerkmale</i>	58
2.2.2.2 Physik-Applets von Walter Fendt.....	59
a) <i>Besonderheiten der Softwaresammlung</i>	59
b) <i>Exemplarische Konkretisierung</i>	60
2.2.2.3 Didaktische Bewertung	61
a) <i>Realisierte Möglichkeiten</i>	61
b) <i>Verbleibende Grenzen</i>	62
2.3 EIGENE ENTWICKLUNGEN	64
2.3.1 „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5	65
2.3.1.1 Starten der Software.....	65
a) <i>Ausführbare Dateien</i>	65
b) <i>ActiveX®-Komponenten</i>	67
2.3.1.2 Aufbau und Benutzung	68
a) <i>Graphischer Modelleditor</i>	68

b)	<i>Simulationsbereich</i>	71
c)	<i>Diagrammbereich</i>	73
d)	<i>Interaktionsbereich</i>	75
e)	<i>Objektverwaltung</i>	76
2.3.1.3	Konfiguration und Anpassung	76
a)	<i>Verwendung der „Eigenschaftenseiten“</i>	77
b)	<i>Speichern von Konfigurationen</i>	81
c)	<i>Erstellung eigener Szenarien</i>	82
d)	<i>Erstellung eigener Zeichnungen</i>	83
e)	<i>Erstellung eigener Datensätze</i>	84
2.3.1.4	Besonderheiten des Modelleditors	85
a)	<i>Erweiterungen der Modellsprache</i>	86
b)	<i>Besonderheiten beim Umgang mit Formeln</i>	95
c)	<i>Erleichterungen bei der Modellerstellung</i>	97
2.3.1.5	Inhaltskomponenten	99
a)	<i>Anhalteweg</i>	100
b)	<i>Kurvenfahrt</i>	110
c)	<i>Getriebe</i>	116
d)	<i>Stoßdämpfer</i>	122
e)	<i>Punktmassen</i>	131
2.3.1.6	Kritische Gesamtbewertung der Version 1.0.5.....	132
a)	<i>Realisierte Möglichkeiten in Version 1.0.5</i>	132
b)	<i>Verbleibende Grenzen in Version 1.0.5</i>	133
2.3.2	„Mechanik und Verkehr“ 2.0.0	138
2.3.2.1	Starten der Software.....	138
a)	<i>Abschied vom ActiveX®-Konzept</i>	138
b)	<i>Bündelung zur universalen Komponentendatei</i>	139
c)	<i>Generierung von Komponenten erst zur Laufzeit</i>	139
d)	<i>Vereinfachung des Programmaufrufs</i>	140
2.3.2.2	Aufbau und Benutzung	141
a)	<i>Objekt- und Modelleditor</i>	141
b)	<i>Simulationsbereich</i>	151
c)	<i>Diagrammbereich</i>	154
d)	<i>Interaktionsbereich</i>	155
2.3.2.3	Konfiguration und Anpassung	158
a)	<i>Verwendung der Menüleiste</i>	159
b)	<i>Bearbeitung der Komponentendatei</i>	160
2.3.2.4	Besonderheiten des Objekt- und Modelleditors	162
2.3.2.5	Kritische Gesamtbewertung von Version 2.0.0.....	164
a)	<i>Realisierte Möglichkeiten in Version 2.0.0</i>	164

b)	<i>Verbleibende Grenzen in Version 2.0.0</i>	166
3	KONZEPT FÜR DEN PHYSIKUNTERRICHT	167
3.1	THEORETISCHER HINTERGRUND	167
3.1.1	Problemorientiertes Lernen	168
3.1.1.1	Fachsystematischer Ansatz	168
a)	<i>Fachsystematische Unterrichtsgestaltung</i>	168
b)	<i>Grenzen des fachsystematischen Ansatzes</i>	168
3.1.1.2	Problemorientierter Ansatz	169
a)	<i>Problemorientierte Unterrichtsgestaltung</i>	169
b)	<i>Didaktisches Potential des problemorientierten Ansatzes</i>	171
3.1.2	Lernen im lebensweltlichen Kontext	172
3.1.2.1	Idee der Kontextorientierung	172
a)	<i>Zu Grunde liegendes Problem</i>	172
b)	<i>Darstellung des Lösungsansatzes</i>	172
3.1.2.2	Legitimation anhand der Lehrplans NRW	173
3.1.3	Physikalische Experimente	174
3.1.4	Modellbildung und Simulation	176
3.1.4.1	Modellierung und Simulation dynamischer Systeme	176
3.1.4.2	Bedeutung im Unterrichtskonzept	176
3.1.5	Modularisierung des Unterrichts	177
3.1.5.1	Lernmodule in der Hochschullehre	177
3.1.5.2	Modularisierung im Physikunterricht	177
3.2	ENTWURF EINES UNTERRICHTSKONZEPTES	179
3.2.1	Allgemeine Konzeption	179
3.2.1.1	Kernbereiche des Unterrichts	179
3.2.1.2	Phasierung der Unterrichtsreihe	180
a)	<i>Modularisierte Unterrichtsphasen</i>	180
b)	<i>Expliziter Bezug zu Kernbereichen</i>	180
c)	<i>Problemlösender Aufbau</i>	180
3.2.2	Kontext „Teilnahme am Straßenverkehr“	182
3.2.2.1	Legitimation des Kontextes	182
a)	<i>Unfallrisiko junger Fahranfänger</i>	182
b)	<i>Verkehrspädagogischer Auftrag der Schule</i>	183
c)	<i>Verkehrsunfallprävention der Polizei</i>	184
3.2.2.2	Kontextbezogene Zielsetzung	186
3.2.2.3	Verhalten im Straßenverkehr	187
a)	<i>Neurobiologischer Hintergrund</i>	187
b)	<i>Psychologischer Hintergrund</i>	189
c)	<i>Ansatzpunkte zur Verhaltensänderung</i>	190
3.2.2.4	Reale Unfälle als Lebensweltproblem	193

a)	<i>Verkehrsunfall statt fließendem Verkehr.....</i>	<i>193</i>
b)	<i>Konkretisierung des Unterrichtsverlaufs</i>	<i>194</i>
c)	<i>Das Unfalltypenkonzept</i>	<i>195</i>
3.3	EXEMPLARISCHE REALISIERUNG	197
3.3.1	Thema und Bedingungen.....	197
3.3.1.1	Schulen, Lehrkräfte und Kurse	197
3.3.1.2	Thematischer Rahmen.....	198
a)	<i>Aufbau des Lehrplans in Nordrhein-Westfalen</i>	<i>198</i>
b)	<i>Unterrichtsgegenstand und Begründung anhand des Lehrplans</i>	<i>198</i>
c)	<i>Enthaltene physikalische Sachaspekte</i>	<i>199</i>
3.3.2	Darstellung der Unterrichtsmodule	199
3.3.2.1	Modul L01 (L wie Lebenswelt)	201
a)	<i>Sachaspekte</i>	<i>201</i>
b)	<i>Lernziele</i>	<i>205</i>
c)	<i>Unterrichtsverlauf.....</i>	<i>206</i>
3.3.2.2	Modul L02	210
a)	<i>Sachaspekte</i>	<i>210</i>
b)	<i>Lernziele</i>	<i>213</i>
c)	<i>Unterrichtsverlauf.....</i>	<i>214</i>
3.3.2.3	Modul E01 (E wie Experimente)	217
a)	<i>Methode.....</i>	<i>217</i>
b)	<i>Lernziele</i>	<i>218</i>
c)	<i>Lernstationen.....</i>	<i>218</i>
3.3.2.4	Modul E02	231
a)	<i>Sachaspekte</i>	<i>231</i>
b)	<i>Lernziele</i>	<i>234</i>
c)	<i>Unterrichtsverlauf.....</i>	<i>235</i>
3.3.2.5	Modul M01 (M wie Modellbildung).....	237
a)	<i>Sachaspekte</i>	<i>237</i>
b)	<i>Lernziele</i>	<i>239</i>
c)	<i>Unterrichtsverlauf.....</i>	<i>239</i>
3.3.2.6	Modul M02	243
a)	<i>Sachaspekte</i>	<i>243</i>
b)	<i>Lernziele</i>	<i>247</i>
c)	<i>Unterrichtsverlauf.....</i>	<i>249</i>
3.3.2.7	Modul M03	253
a)	<i>Sachaspekte</i>	<i>253</i>
b)	<i>Lernziele</i>	<i>258</i>
c)	<i>Unterrichtsverlauf.....</i>	<i>259</i>
3.3.2.8	Modul M04	262

a) Sachaspekte	262
b) Lernziele	269
c) Unterrichtsverlauf.....	270
3.3.2.9 Modul L03	273
a) Sachaspekte	273
b) Lernziele	278
c) Unterrichtsverlauf.....	279
3.4 FLANKIERENDE MAßNAHMEN.....	285
4 EVALUATION	287
4.1 KONZEPTION UND DURCHFÜHRUNG DER STUDIE.....	288
4.1.1 Zielsetzung	288
4.1.1.1 Gemeinsame Ziele von Software und Unterrichtsreihe	288
4.1.1.2 Formulierung der Arbeitshypothesen.....	288
4.1.1.3 Weitere vermutete Zusammenhänge.....	290
4.1.2 Entwurf des Fragebogens	290
4.1.2.1 Allgemeines zur Konzeption	290
4.1.2.2 Gestaltung des Fragebogens	291
a) Gliederung der Fragen	291
b) Wahl der Messniveaus	292
4.1.3 Durchführung der Studie	292
4.1.3.1 Rahmenbedingungen und Datenbasis	292
a) Beteiligte Schulen und Kurse	292
b) Zeitlicher Studienverlauf.....	293
4.2 ERGEBNISSE DER STUDIE.....	294
4.2.1 Werkzeuge und Methoden	294
4.2.1.1 Technische Hilfsmittel	294
a) Erfassung der Rohdaten.....	294
b) Verarbeitung und Auswertung.....	294
4.2.1.2 Darstellungsformen.....	294
a) Verteilungen und Mittelwerte	295
b) Prüfung statistischer Zusammenhänge	297
4.2.1.3 Statische Methoden	299
a) Mittelwert und Standardabweichung	299
b) Der χ^2 -Unabhängigkeitstest	300
4.2.2 Einzelergebnisse	303
4.2.2.1 Fragen zur Person (I B)	303
4.2.2.2 Fragen zur Lerngruppe (I C)	304
4.2.2.3 Voraussetzungen zur Teilnahme am Straßenverkehr (II A)	305
4.2.2.4 Persönliche Interessen und Einschätzungen (II B)	306
4.2.2.5 Einfache geradlinige Bewegungen (III A)	310

4.2.2.6	Modelle und Systeme (III B)	317
4.2.2.7	Probleme aus dem Straßenverkehr (IV A)	318
4.2.2.8	Gefahren im Straßenverkehr (IV B)	324
4.2.2.9	Reflexion der Unterrichtsreihe (IV C)	328
4.2.3	Überprüfung der Hypothesen	331
4.2.3.1	Hypothese H1	332
a)	<i>Erläuterung der Hypothese</i>	<i>332</i>
b)	<i>Zuordnung und Gewichtung der Fragen</i>	<i>332</i>
c)	<i>Darstellung und Interpretation der Ergebnisse</i>	<i>333</i>
d)	<i>Ermittlung der Irrtumswahrscheinlichkeit</i>	<i>334</i>
4.2.3.2	Hypothese H2	336
a)	<i>Erläuterung der Hypothese</i>	<i>336</i>
b)	<i>Zuordnung und Gewichtung der Fragen</i>	<i>336</i>
c)	<i>Darstellung und Interpretation der Ergebnisse</i>	<i>337</i>
d)	<i>Ermittlung der Irrtumswahrscheinlichkeit</i>	<i>337</i>
4.2.3.3	Hypothese H3	339
a)	<i>Erläuterung der Hypothese</i>	<i>339</i>
b)	<i>Zuordnung und Gewichtung der Fragen</i>	<i>339</i>
c)	<i>Darstellung unter Interpretation der Ergebnisse</i>	<i>339</i>
d)	<i>Ermittlung der Irrtumswahrscheinlichkeit</i>	<i>340</i>
4.2.3.4	Hypothese H4	342
a)	<i>Erläuterung der Hypothese</i>	<i>342</i>
b)	<i>Zuordnung und Gewichtung der Fragen</i>	<i>342</i>
c)	<i>Darstellung und Interpretation der Ergebnisse</i>	<i>343</i>
d)	<i>Ermittlung der Irrtumswahrscheinlichkeit</i>	<i>343</i>
4.2.3.5	Hypothese H5	345
a)	<i>Erläuterung der Hypothese</i>	<i>345</i>
b)	<i>Zuordnung und Gewichtung der Fragen</i>	<i>345</i>
c)	<i>Darstellung und Interpretation der Ergebnisse</i>	<i>346</i>
d)	<i>Ermittlung der Irrtumswahrscheinlichkeit</i>	<i>347</i>
4.2.3.6	Zusammenfassung und Fazit	349
4.2.4	Untersuchung weiterer Zusammenhänge	350
4.2.4.1	Alter, Geschlecht & Schulform	350
a)	<i>Zusammenhang zum Alter</i>	<i>350</i>
b)	<i>Zusammenhang zum Geschlecht</i>	<i>351</i>
c)	<i>Zusammenhang zur Schulform</i>	<i>352</i>
4.2.4.2	Interesse für Physik, Technik & Computer	353
a)	<i>Interesse für Physik</i>	<i>353</i>
b)	<i>Interesse für Technik</i>	<i>354</i>
c)	<i>Interesse für Computer</i>	<i>354</i>

4.2.4.3	Einstellung zu Kfz & Führerscheinbesitz.....	355
a)	<i>Einstellung zu Kraftfahrzeugen</i>	355
b)	<i>Führerschein und Fahrzeugzugriff</i>	356
4.3	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	358
5	ANHANG	360
5.1	NACHWEISE UND VERZEICHNISSE.....	360
5.1.1	Literaturverzeichnis	360
5.1.1.1	Eigene Vorveröffentlichungen zum Thema	360
5.1.1.2	Quellenangaben zu verwendeter Literatur	361
5.1.1.3	Hypertext-Seiten im World Wide Web.....	365
5.1.2	Abbildungsnachweise	367
5.2	VERWENDETE MATERIALIEN.....	369
5.2.1	Material für den Physikunterricht	369
5.2.1.1	Ursachenverzeichnis für Verkehrsunfälle	370
5.2.1.2	Modul L02 - Polizeilicher Unfallbericht	372
5.2.1.3	Modul E01 Blatt a - Lernstation 01	376
5.2.1.4	Modul E01 Blatt b - Lernstation 02	378
5.2.1.5	Modul E01 Blatt b - Lernstation 03	382
5.2.1.6	Modul E01 Blatt d - Lernstation 04	386
5.2.1.7	Modul E01 Blatt e - Lernstation 05	390
5.2.1.8	Modul M01 Blatt a - Physikalischer Modellbegriff.....	391
5.2.1.9	Modul M01 Blatt b - Flussdiagramme	392
5.2.1.10	Modul L03 - Rollenkarten	393
5.2.2	Material zur empirischen Studie.....	394
5.2.2.1	Lehrerinformation	395
5.2.2.2	Schülerfragebogen	396
5.2.3	Beiliegender Datenträger.....	410
5.3	TABELLARISCHER LEBENS LAUF	411
5.4	DANKSAGUNG	413

1 Einleitung

Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich mit Problemen aus drei verschiedenen Arbeitsbereichen: Lernsoftwareentwicklung, Physikunterricht und Verkehrssicherheitsarbeit. Diese Bereiche haben nur auf den ersten Blick nichts miteinander zu tun, auf den zweiten Blick ist sehr wohl eine gemeinsame Schnittmenge zu erkennen: Physikunterricht, der durch den Kontext „Straßenverkehr“ auch verkehrssicherheitsrelevante Inhalte vermitteln kann und in dem eine spezielle Lernsoftware eine zentrale Rolle spielt.

1.1 Zugrunde liegende Probleme

Zunächst werden aber die drei genannten Bereiche getrennt betrachtet, um die jeweils spezifischen Probleme darzulegen, welche durch die Ansätze dieser Arbeit angegangen oder zumindest berührt werden.

1.1.1 Lernsoftwareentwicklung

Seit vielen Jahren hält der Computer als Lehr-Lern-Medium schrittweise Einzug in den Unterricht an Schulen. Die Hoffnungen und Erwartungen von Fachwelt und Öffentlichkeit übertreffen dabei die bisher real erzielten Erfolge bei weitem. Im Fach Physik zeichnen sich jedoch (deutlicher als in anderen Fächern) inzwischen einige Einsatzfelder ab, aus denen bereits jetzt ein wirklicher Mehrwert für den Unterricht erwächst und die noch dazu ein erhebliches Potential für weitere Entwicklungen und Verbesserungen aufweisen. Zwei besonders viel versprechende Ansätze werden in dieser Arbeit aufgegriffen:

Graphische Modellbildungssysteme und interaktive Computersimulationen.

Beide Lernsoftwarekategorien bieten zahlreiche, interessante Möglichkeiten, besitzen aber durchaus auch noch unübersehbare Schwächen, was hier nur kurz angerissen und in Kapitel 2 ausführlich thematisiert wird²:

- Graphische Modellbildungssysteme ermöglichen die Erstellung eigener, physikalischer Modelle mittels einer anschaulichen Symbolsprache, ihre Berechnung mit numerisch iterativen Rechenverfahren und die Darstellung der Ergebnisse in Diagrammen. Dadurch werden nicht nur die Zusammenhänge zwischen Systemgrößen verdeutlicht, es lassen sich auch mit physikalisch elementaren Gesetzen sehr komplexe, lebensnahe Probleme ohne große mathematische Hürden quantitativ lösen. Andererseits geht durch die statische die Form der Ausgabe (als Diagramm oder Zahlentabelle) der dynamische Aspekt des modellierten Vorgangs weitgehend verloren. Außer-

² Zu diesem Thema hat der Autor dieser Arbeit bereits in seiner zweiten Staatsarbeit (BUSSE 2001) erste Analysen und Vorschläge vorgelegt.

dem sind die meisten verbreiteten Programme nicht auf physikalische Probleme optimiert und daher oft umständlich und inkonsequent in der Anwendung.

- Interaktive Computersimulationen zeigen reale dynamische Abläufe als animierte, schematische Grafiken mit zeitgleich entstehenden Diagrammen und bieten dabei eine Reihe spezifischer Interaktionsmöglichkeiten. Sie bilden so eine sinnvolle Alternative zu statischen Zeichnungen und Graphen. Auf der anderen Seite gewähren sie keinerlei Einblick in ihre interne Funktionsweise, die verwendeten physikalischen Zusammenhänge bleiben im Dunkeln. Außerdem sind sie in ihrer Flexibilität hinsichtlich der Lerninhalte und Darstellungsvarianten meist sehr eingeschränkt und so in ihren Einsatzmöglichkeiten begrenzt.

1.1.2 Physikunterricht

Der real existierende Physikunterricht sieht sich seit langem von zwei verschiedenen Seiten in der Kritik:

- Auf der einen Seite gilt die Physik bei den Schülern als eines der unbeliebtesten Fächer schlechthin. Denn
 - erstens gilt der Unterricht als schwer verständlich und voll von mathematischen Hürden, die dem Kenntnisstand der Schüler weit vorausgreifen, und
 - zweitens scheint die Physik nichts mit dem realen Leben der Schüler zu tun zu haben und nur unter konstruierten Bedingungen in Laboren gültig zu sein, so dass die Schüler sich durch die mühsam erworbenen Erkenntnisse noch nicht einmal in die Lage versetzt fühlen, diese in alltäglichen Erkenntnisgewinnungs-, Meinungsbildungs- oder Problemlösungsprozessen nutzbringend einzusetzen.
- Andererseits beklagen Fachwissenschaftler immer wieder, dass die Inhalte des Physikunterrichts sich seit vielen Jahrzehnten kaum geändert haben, obwohl die physikalische Forschung methodisch und inhaltlich große Fortschritte gemacht hat. So ist zum Beispiel der Computer für viele Einsatzbereiche in der modernen Physik - unter anderem die numerische Lösung komplexer Probleme - zu einem unverzichtbaren Werkzeug geworden. In der Schule wird diese Tatsache aber in weiten Teilen ignoriert und die analytische Lösung weiterhin als einziges solides Verfahren dargestellt.

1.1.3 Verkehrssicherheitsarbeit

Mit völlig anderen Problemen sehen sich die Personen konfrontiert, die in der präventiven Verkehrssicherheitsarbeit aktiv sind. Seit Jahren ist zwar die Zahl der Verkehrsunfälle, bei denen Menschen auf deutschen Straßen verletzt oder sogar getötet werden, glücklicherweise rückläufig (STAT-BA 2005 A), was nicht zuletzt auf technische Fortschritte bei der Entwicklung aktiver und passiver Sicherheitssysteme in den Fahrzeugen zurückzuführen ist. Unverändert sind aber die so genannten „jungen Fahrer“, die 16- bis

24-Jährigen, in Relation zu ihrem Anteil an der Gesamtbevölkerung überproportional häufig an schweren Verkehrsunfällen beteiligt.

Neben vielen anderen haben sowohl die Polizei als auch die Schulen offiziell den Auftrag, einen Teil ihrer Ressourcen für präventive Maßnahmen zur Unfallverhütung aufzuwenden. Eine gut eingespielte und seit Jahrzehnten bewährte Zusammenarbeit gibt es dabei in den Grundschulen, wo die Polizisten und Lehrer gemeinsam grundlegende Kenntnisse über die Teilnahme am Straßenverkehr zu Fuß und mit dem Fahrrad in theoretischen und praktischen Einheiten vermitteln.

Die „jungen Fahrer“ sind in der Schule aber in der Sekundarstufe II vertreten. Für diese finden - zumindest in Nordrhein-Westfalen - vergleichbar ausgereifte und ineinander greifende Präventionsmaßnahmen von Schule und Polizei bislang nicht statt.

1.2 Lösungsansatz und Zielsetzung

Das Ziel des Projektes, welches dieser Arbeit zugrunde liegt, ist in der Schnittmenge der genannten Bereiche einzuordnen: Es soll eine Lernsoftware entwickelt werden, die eine Synthese zwischen graphischem Modellbildungssystem und interaktiver Computersimulation darstellt (Abschnitt 2.3). Diese soll in ein Konzept für den Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe integriert werden, welches auf die Teilnahme am Straßenverkehr als lebensweltlichen Kontext ausgerichtet ist (Kapitel 3). Für die einzelnen genannten Arbeitsbereiche sind damit die folgenden Erwartungen verbunden.

1.2.1 Lernsoftwareentwicklung

Es soll also eine Lernsoftware entwickelt werden, die einerseits einen graphischen Modellbildungseditor enthält, andererseits animierte Grafiken und zeitlich entstehende Diagramme zu bestimmten Kontexten ermöglicht. Der Reiz dieser Idee liegt darin, dass die beiden Softwarekategorien sich hinsichtlich ihrer Möglichkeiten und Grenzen sehr gut zu ergänzen scheinen: In vielen Bereichen hat das eine Genre seine didaktischen Stärken gerade dort, wo das andere Schwächen aufweist. Durch die Synthese sollte es möglich sein, die Stärken beider Softwarekategorien in einer Software zu vereinen und vorhandene Schwächen auszugleichen.

Die verwendete Modellsprache für den Modellbildungsteil soll sich dabei an vorhandenen Ansätzen orientieren, um den gemeinsamen Einsatz mit anderen Softwareprodukten zu ermöglichen, sowie Lehrern und Schülern mit einschlägigen Erfahrungen den Einstieg zu erleichtern. Die bekannten Probleme bei der Bearbeitung physikalischer Themen sollen aber durch eine Weiterentwicklung der Modellsprache und der Bedienstruktur gelöst werden.

Die Software soll dabei konsequent am Kontext Verkehr ausgerichtet sein, um sich optimal in das ebenfalls zu entwickelnde Unterrichtskonzept einzufügen (Abschnitt 1.2.2).

1.2.2 Physikunterricht

Durch den in dieser Arbeit vorgestellten Ansatz für den Physikunterricht wird auf beide genannten Kritikbereiche reagiert:

- Aus Schülersicht sollte der Unterricht als lebensnäher und mathematisch besser zu bewältigen empfunden werden:
 - Schüler sehen den stärksten Bezug zwischen der Physik und ihrer Lebenswelt im Straßenverkehr (BRESGES 2002). Noch dazu ist dieses Thema zu Beginn der gymnasialen Oberstufe von besonderem Interesse, weil ein großer Teil der Schüler sich in der Führerscheinausbildung befindet. Ein problemorientierter Unterricht mit konsequenter Ausrichtung an lebensweltlichen Fragestellungen aus diesem Kontextbereich sollte daher für die Schüler ansprechender sein als die übliche Ausrichtung an der Fachsystematik. Die zusätzliche Kooperation mit der Polizei erhöht dabei die Authentizität des Lebensweltbezuges.
 - Mathematische Hürden beim Lösen komplexer Probleme sowie Schwierigkeiten beim Transfer zwischen verschiedenen Abstraktionsebenen und Codierungen werden durch die Verwendung der genannten Software reduziert.
- Durch die Einführung in die numerische Simulation anhand der verwendeten Lernsoftware wird außerdem ein mächtiges und hochaktuelles Werkzeug der modernen physikalischen Forschung auf anschauliche und spielerische Weise für den Unterricht nutzbar gemacht.

Das Unterrichtskonzept wird in Kapitel 3 ausführlich dargestellt.

1.2.3 Verkehrssicherheit

- Einerseits werden in der hier vorgestellten Unterrichtsreihe anhand realer Unfallszenarien einige grundlegende physikalische Zusammenhänge vermittelt, die für die Gefahreinschätzung im Straßenverkehr wichtig sind und die sich auch mit technischen Sicherheitssystemen nicht aushebeln lassen.
- Andererseits wird eine enge Verzahnung des Unterrichts mit den verkehrspädagogischen Maßnahmen der Polizei angestrebt. Diese Maßnahmen, welche ohnehin aufgrund eines Erlasses des Innenministeriums NRW (IM-NRW 2003) von den Beamten durchgeführt werden müssen, wurden im Rahmen dieses Projektes - in enger Kooperation mit den beteiligten Polizisten - inhaltlich neu gestaltet, methodisch und medial aufgewertet und als lebensweltlicher „Rahmen“ (die Reihe beginnt und endet mit Polizeibesuchen) zu einem wichtigen Bestandteil des Unterrichtskonzeptes erhoben. Zentrales Anliegen der Maßnahmen ist die Aufklärung der jungen Fahrer über ihre unfallstatistisch exponierte Rolle, sowie die Beschäftigung mit möglichen „Unfallursachen“ und die Erarbeitung von Handlungsperspektiven.

1.3 Projektverlauf im Überblick

Die Realisierung der genannten Vorhaben verteilt sich insgesamt über knapp 4 Jahre. Einen zusammenfassenden Überblick über den zeitlichen Verlauf des gesamten Projektes einschließlich Softwareentwicklung, Unterrichtsversuchen und Polizeikooperation bietet die folgende Zeittafel.

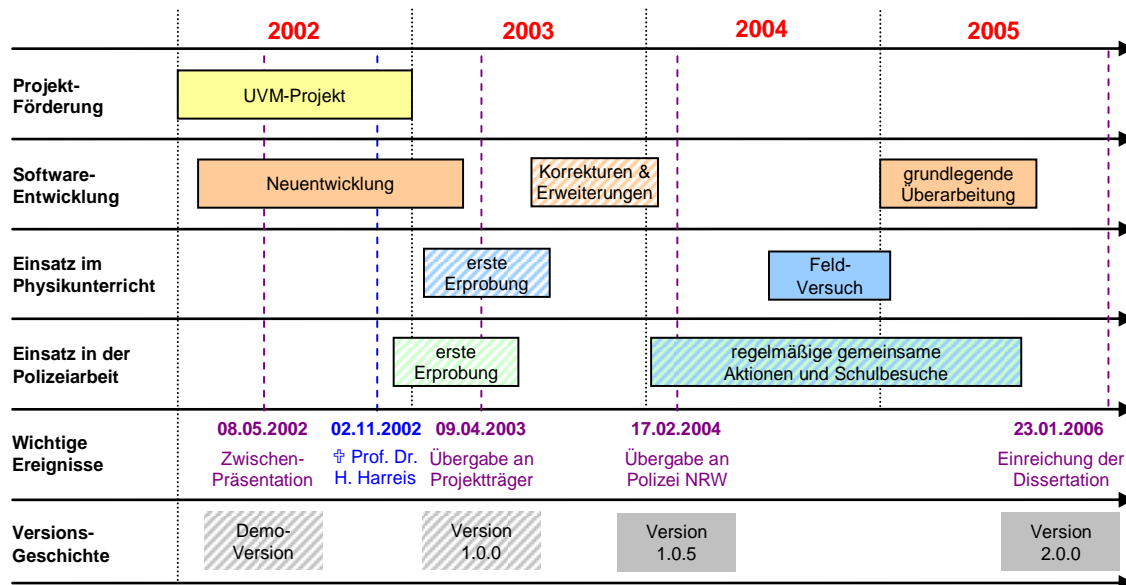


Abbildung 1: Zeittafel zum Projektverlauf. Hinsichtlich der Softwareentwicklung kann man grob zwei Phasen unterscheiden: Am Ende der ersten Phase stand Version 1.0.5 (siehe Abschnitt 2.3.1), die ausgiebig in Schule und Polizeiarbeit eingesetzt und in einem Feldversuch erprobt und evaluiert wurde. Am Ende der darauf folgenden zweiten Phase stand die völlig überarbeitete Version 2.0.0 (siehe Abschnitt 2.3.2), deren Einsatz und Erprobung in zukünftigen Projekten geplant ist.

Initiator des gesamten Projektes war *Prof. Dr. Horst Harreis*, der im Jahr 1999 den Autor dieser Arbeit für die Idee gewann, Lernsoftware über verkehrssphysikalische Themen mit sicherheitspädagogischem Anspruch zu entwickeln und darüber die Promotion anzustreben. Gemeinsam gelang es, eine Drittmittelförderung einzuwerben, um die erste Phase der Entwicklung (nach Abschluss des Studienreferendariates durch den Autor) zu finanzieren. Es handelte sich um ein Projekt mit dem Titel „*Mechanik und Verkehr*“³ und wurde gefördert vom „*Universitätsverbund Multimedia NRW*“ (UVM) in Hagen⁴ im Rahmen der Ausschreibung „*Hochschulen in multimedialen Netzwerken - Neue Me-*

³ Aufgrund dieses Projekttitels trägt auch die Software selbst den Namen „Mechanik und Verkehr“ und hat diesen - trotz thematischer Erweiterungen - aus Gründen der Identifizierbarkeit beibehalten.

⁴ Es handelte sich um eine Institution des Landes Nordrhein-Westfalen, die 1997 mit dem Ziel gegründet wurde, die Entwicklung neuer Medien zum Einsatz in Hochschule und Schule durch geeignete Projektausschreibungen und Wettbewerbe zu fördern. Im März 2004 wurde die Institution umbenannt in „*Centrum für eCompetence an Hochschulen NRW*“ (CeC). Seitdem ist nicht mehr die Förderung neuer Projekte, sondern die Betreuung und Beratung von Hochschulmitarbeitern bei Erstellung und Vertrieb neuer Medien für den Bildungsbereich die Kernaufgabe.

dien in Schulen und Hochschulen“. Prof. Dr. Harreis übernahm sowohl die Leitung des Projektes, als auch die Betreuung des Promotionsvorhabens.

Am 02.11.2002 verstarb Prof. Dr. Harreis unerwartet infolge eines schweren Unfalls. Im Anschluss übernahm *Dr. André Bresges* die Projektleitung und *Prof. Dr. Norbert Treitz* die Betreuung der vorliegenden Arbeit. In dieser Besetzung wurde am 09. April 2003 die Lernsoftware in der Version 1.0.0 dem UVM als Projektträger übergeben und das geförderte Projekt damit offiziell abgeschlossen.

Zwischenzeitlich wurden Kontakte einerseits zu Schulen und Studienseminaren, andererseits zu verschiedenen Polizeidienststellen, *PFI bzw. IAF Neuss*⁵, *Innenministerium NRW*, *TÜV Akademie Rheinland*, *Landesverkehrswacht NRW* und einigen weiteren Institutionen aufgebaut. Dabei wurden bereits in der Betaphase erste Szenarien zum Einsatz der Software entworfen und versuchsweise realisiert. So eröffneten sich verschiedene sinnvolle Möglichkeiten, die sich in zwei Arbeitsfelder aufteilen lassen:

- *Innerhalb der Schule*: Wie in den Abschnitten 1.1 und 1.2 bereits thematisiert wurde, kann die Software im Physikunterricht unter Nutzung der Kooperation mit der Polizei und mit verkehrspädagogischem Mehrwert eingesetzt werden (siehe Abschnitte 3.2 und 3.3). Außerhalb des Physikunterrichts bieten sich die obligatorischen Unterrichtsbesuche der Polizei an, welche durch die Software medial aufgewertet werden.
- *Außerhalb der Schule*: Weitere Einsatzmöglichkeiten bieten sich in der außerschulischen Verkehrssicherheitsarbeit. Zum Beispiel kann das „verkehrsdidaktische Gespräch“ mit Verkehrsteilnehmern, die in einer Geschwindigkeitskontrolle auffällig geworden sind, durch die Software unterstützt werden (siehe Abschnitt 3.4).

Die beiden Arbeitsbereiche wurden personell aufgeteilt: Der Autor dieser Arbeit beschäftigte sich in der Folgezeit - neben der Weiterentwicklung der Software - im Wesentlichen mit dem erstgenannten, schulischen Bereich. Dr. Bresges erhob insbesondere die Entwicklung und Erprobung außerschulischer, verkehrspädagogischer Maßnahmen sowie den Aufbau kooperativer Netzwerke zur Erhöhung der Sicherheit im Straßenverkehr zu einem Schwerpunkt seiner Forschungstätigkeit.

Aufgrund der Erfahrungen aus den ersten Praxiseinsätzen nahm der Autor eine Reihe kleinerer Korrekturen und Erweiterungen der Software vor, deren vorläufiger Abschluss in der Version 1.0.5 (vorgestellt in Kapitel 2.3.1) bestand. Im Rahmen der inzwischen sehr guten Kooperation mit den Institutionen der Polizei wurde sie in dieser Version am 17.02.2004 offiziell an das IAF übergeben und damit allen Polizeibehörden in NRW zugänglich gemacht. Gleichzeitig wurde die Software an Lehrer und Fachleiter an Schulen und Studienseminaren verteilt.

⁵ Ein Institution des Landes Nordrhein-Westfalen, die vormalig *Polizeifortbildungsinstitut* (PFI) hieß, inzwischen aber umbenannt wurde in *Institut für Aus- und Fortbildung der Polizei* (IAF)

Im weiteren Verlauf wurden die Ideen für den Unterricht vom Autor konkretisiert und zu einem Unterrichtskonzept erweitert, das schließlich in einer Feldstudie an mehreren Schulen in Mülheim an der Ruhr im Physikunterricht eingesetzt (Kapitel 3) und evaluiert (Kapitel 4) wurde. Nach Abschluss der Evaluation wurde aufgrund der gesammelten Erfahrungen und Beobachtungen die Software noch einmal vollständig überarbeitet und liegt nun in einer neuen Version 2.0.0 vor, in der einige Ideen der Ursprungsversion aufgegeben wurden, andere hinzugekommen sind und viele strukturelle Änderungen vorgenommen wurden. Für diese neue Version (vorgestellt in Abschnitt 2.3.2) ist eine Erprobung in einem zukünftigen Unterrichtsprojekt vorgesehen.

Parallel werden vom Autor seit Anfang 2004 regelmäßig verkehrspädagogische Maßnahmen zusammen mit der Polizei Mülheim an der Ruhr in der Sekundarstufe II an Schulen und Betrieben durchgeführt, bei denen ebenfalls die Software als wesentliches Element eingebunden ist (siehe Abschnitte 3.3.2.1 und 3.4.).

2 Entwicklung einer Lernsoftware

Im Rahmen des Promotionsvorhabens, welches dieser Dissertation zugrunde liegt, wurde eine Lernsoftware für den Einsatz im Physikunterricht und in der Verkehrssicherheitsarbeit entwickelt. Bevor diese in Abschnitt 2.3 vorgestellt wird, werden in Abschnitt 2.1 einige theoretische Vorüberlegungen angestellt, daraus Zielvorgaben entwickelt und in Abschnitt 2.2 geprüft, inwieweit die derzeit am Markt verfügbaren Softwareprodukte diese Zielvorgaben bereits erfüllen.

2.1 Theoretischer Hintergrund

2.1.1 Lernsoftware im Allgemeinen

2.1.1.1 Der Computer als Medium in Lehr-Lern-Prozessen

Mindestens seit den 1920er Jahren regt der Computer die Phantasie der Didaktiker an (siehe MIETZEL 1993). Von den einfachen Vokabeltrainern der ersten Stunde bis zu den heute teilweise sehr mächtigen und komplexen Lernprogrammen hat sich inzwischen einiges getan. Nichts desto trotz scheint die Entwicklung von Lernsoftware ein Nischenthema zu bleiben, das in vielen Bereichen weit hinter den technischen Möglichkeiten und dem didaktischen Potential verschiedener Ideen zurückbleibt.

Die Gründe dafür sind vielfältig. Ein großes Problem dabei ist zweifellos das Geld. Einerseits fehlt es an Ausstattung der Schulen mit geeigneter Technik und Software, an Fachkräften zur Wartung und Administration dieser Ausstattung, sowie an geeigneten und verbindlichen Fortbildungen für Lehrkräfte. Andererseits schreitet auch die Softwareentwicklung langsamer voran, als es wünschenswert wäre, da der Lernsoftwaremarkt für professionelle Softwarefirmen weitgehend unattraktiv ist und daher die Entwicklungsarbeit im Wesentlichen von Mitarbeitern in Schulen und Hochschulen getragen wird, denen nur ein Teil ihrer Ressourcen für diese Zwecke zur Verfügung steht, und die gerade im Hochschulbereich einer hinderlichen personellen Fluktuation unterworfen sind.

Ein anderes Problem ist eine gewisse, möglicherweise durchaus berechtigte Skepsis, die von Lehrern und Eltern, seltener auch von Schülerinnen, noch seltener von Schülern, dem Computer als Lehr-Lern-Medium entgegengebracht wird. Vergleiche mit didaktischen Sackgassen wie den Sprachlaboren der 1960er Jahre, die für viel Geld angeschafft, dann aber nur sporadisch und mit mäßig überzeugenden Resultaten genutzt wurden, werden gerne herangezogen und können vermutlich erst in vielen Jahren im Rückblick als berechtigt oder unberechtigt beurteilt werden.

Dennoch hat sich im Laufe der Zeit ein breites Spektrum von Einsatzmöglichkeiten des Computers in Lehr-Lern-Situationen herausgebildet. In einigen Konzepten werden Standard-Werkzeuge wie Internet-Browser oder Office-Pakete genutzt. Andere basieren

auf speziell in didaktischer Absicht entwickelter Lernsoftware. Von diesen Computerprogrammen ist nur ein gewisser Teil für naturwissenschaftliche Probleme nützlich. Im folgenden Abschnitt wird der Versuch unternommen, diese relevanten Programme hinsichtlich ihrer Funktionen und ihres didaktischen Ansatzes zu klassifizieren, ohne dabei Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

Zwei dieser Softwarekategorien, beschrieben unter den Punkten 2.1.1.2a) und 2.1.1.2c), werden im weiteren Textverlauf einen besonderen Stellenwert einnehmen. Ihnen sind explizit die Abschnitte 2.1.2 und 2.1.3 gewidmet. Ihr didaktisches Potential zu untersuchen und zu erweitern ist eines der zentralen Anliegen dieser Arbeit.

2.1.1.2 Klassifikation aktueller Lernsoftware

a) *Interaktive Simulationen*

Interaktive Simulationen stellen meist schematisch Versuchsanordnungen dar, deren Verhalten aufgrund von mathematischen Modellen intern berechnet und animiert ausgegeben wird. Dazu besteht meist die Möglichkeit, zeitgleich mit der Animation bestimmte Größen in Diagrammen auftragen oder als Vektoren anzeigen zu lassen. Interaktiv wird eine solche Software dadurch, dass der Lernende die Möglichkeit hat, durch Variation einzelner, vorher festgelegter Parameter in das Geschehen einzugreifen. In Abschnitt 2.1.3 wird diese Softwareklasse ausführlich thematisiert.

b) *Interaktive Bildschirmexperimente*

Für das interaktive Bildschirmexperiment (IBE)⁶ werden reale Versuchsaufbauten fotografiert. In diese Fotos kann der Lernende mit der Maus hineingreifen und durch Betätigen von Schaltern und Reglern oder das Verschieben von Objekten Parameter des Versuchs variieren. Entscheidender Unterschied zur Simulation (vergleiche a) ist dabei, dass die Software keine Berechnungen durchführt, sondern aus einem Fundus von Fotos des Versuchs das jeweils passende für die aktuelle Parameterkombination auswählt.

c) *Graphische Modellbildungssysteme*

Modellbildungssysteme ermöglichen dem Lernenden, selbst quantitative Modelle dynamischer Systeme zu erstellen, mit Hilfe dieser Modelle durch numerische Iterationsverfahren Berechnungen durchführen zu lassen und diese in Form von Zahlenwerten oder Diagrammen auszugeben. Graphische Modellbildungssysteme verwenden hierzu in der Regel spezielle Flussdiagramme, welche zusätzlich die Zusammenhänge der Systemgrößen anschaulich darstellen. Eine ausführliche Besprechung findet sich in Abschnitt 2.1.2.

⁶ Die Idee der interaktiven Bildschirmexperimente wurde 1996 von DR. JÜRGEN KIRSTEIN aus der Arbeitsgruppe Didaktik der Physik der Technischen Universität Berlin entwickelt (KIRSTEIN WWW).

d) Multimediale Informationssysteme

Diese Lernsoftwareklasse konkurriert am ehesten mit dem gedruckten Schulbuch und dem Filmprojektor. Es handelt sich dabei um informierende Texte ähnlich denen in Lehrbüchern, wobei die einzelnen Abschnitte meist über komfortable Menüstrukturen erreichbar und über Hyperlinks miteinander verknüpft sind. Multimedial sind diese Systeme dann, wenn sie außer Texten auch Bild-, Video- und Audiomaterial oder sogar kleinere interaktive Simulationen (siehe a) enthalten.

e) Tutorielle und repetitive Systeme

Typisch für diese Art der Lernsoftware sind vorgegebene Abläufe, durch welche der Lernende geführt wird. Diese können einerseits in kurzen Wiederholungen und Zusammenfassungen des Lernstoffs, teilweise unterstützt durch multimediale Anteile wie unter d) bestehen. Andererseits kann es sich um aufeinander folgende Übungsaufgaben handeln, die das Programm sofort auswertet, um dem Lernenden Auskunft über seine Erfolgsquote zu geben. Zur Erleichterung der Automatischen Auswertung kann der Lernende dabei in der Regel zwischen verschiedenen Antwortmöglichkeiten wählen (Multiple Choice) oder Zahlenwerte (etwa als Ergebnis einer Berechnung) eingeben.

f) Erfassung und Auswertung von Messwerten

Diese Softwarekategorie verfolgt nicht unbedingt ein konkretes Lernziel, sondern soll Schüler und Lehrer bei der Durchführung und Auswertung von Versuchen unterstützen. So gibt es auf der einen Seite die Möglichkeit, über spezielle Schnittstellen Messwerte vom Computer protokollieren und in Tabellen speichern zu lassen. Auf der anderen Seite kann der Computer aus den Ergebnissen Diagramme zeichnen und die Übereinstimmung mit hypothetischen Kurvenverläufen überprüfen. Diese beiden Funktionen können, müssen aber nicht in einer Software vereinigt sein.

2.1.2 Graphische Modellbildungssysteme

2.1.2.1 Dimensionen des Modellbegriffs

a) Alltagsverständnis des Modellbegriffs

Zur Beantwortung der Frage, was unter einem graphischen Modellbildungssystem zu verstehen ist, wird zunächst der wichtige und vielschichtige Begriff des Modells geklärt. Inwiefern er wichtig ist, wird in den nächsten Abschnitten verdeutlicht; vielschichtig ist er aufgrund seiner zwar verwandten, aber doch sehr unterschiedlichen Bedeutungsdimensionen im täglichen Sprachgebrauch. Dies wird zunächst anhand einiger Beispiele verdeutlicht, die auf ihr implizites Begriffsverständnis hin analysiert werden.

- Künstler erheben Personen oder Gegenstände zu Modellen, die ihnen als Vorlage oder zumindest Inspiration für ein Kunstwerk dienen. In gewisser Weise ist das Produkt also ein Abbild der Wirklichkeit, bei dem einige Aspekte besonders hervorgehoben, andere vernachlässigt, wieder andere verfremdet wurden, wobei das Original als Modell bezeichnet wird.
- Modell-Bau ist seit Langem ein beliebtes Hobby. Dabei werden etwa von Autos, Schiffen oder Flugzeugen maßstäblich verkleinerte Nachbildungen geschaffen, wobei meist eine möglichst vergleichbare optische Gestaltung im Vordergrund steht, manchmal auch die realisierten Funktionen (etwa beim Modell einer Dampfmaschine). Hier ist das Modell also eine vereinfachte und verkleinerte Kopie der Wirklichkeit, bei der außer der äußeren Erscheinung meist nur einige Grundfunktionen (etwa Fahren, Schwimmen oder Fliegen) „modelliert“ werden.
- Kündigt ein Fahrzeughersteller ein neues Auto-Modell an, meint er damit eine Baureihe, also die Massenproduktion von Fahrzeugen, die bestimmte charakteristische Merkmale gemeinsam haben, da sie von einem einzigen Prototyp abstammen. Hier werden mit dem Modellbegriff also viele Einzelgegenstände aufgrund eines Bündels von Eigenschaften zu einer Einheit, sozusagen einer Klasse von Gegenständen zusammengefasst.

Es ließen sich noch viele weitere Beispiele finden. Gemeinsam scheint allen Modell-Begriffen dabei zu sein, dass es immer auf irgendeine Weise um eine Relation von Originalen und Abbildern geht, die in einigen, aber nie in allen Details mit den Originalen übereinstimmen.

b) Modelle in den Naturwissenschaften

Auch in den Naturwissenschaften ist der Begriff des Modells nicht allgemein verbindlich definiert, sondern weist sehr unterschiedliche Bedeutungsdimensionen sowie Überschneidungen mit anderen, verwandten Begriffen auf. Je nach zugrunde gelegtem Begriffsverständnis könnten dem Modell unterschiedliche Funktionen zugewiesen werden.

In diesem Abschnitt wird das spezifische Verständnis des naturwissenschaftlichen Modellbegriffs dargestellt, welches in den nachfolgenden Abschnitten und Kapiteln zugrunde gelegt wird. Die Ausführungen sind angelehnt an TREITZ 1984 und HARREIS 1986. Die wissenschaftstheoretischen Betrachtungen zum Modellbegriff beziehen sich insbesondere auf POPPER 1995.

ba) Charakteristische Merkmale des naturwissenschaftlichen Modellbegriffs

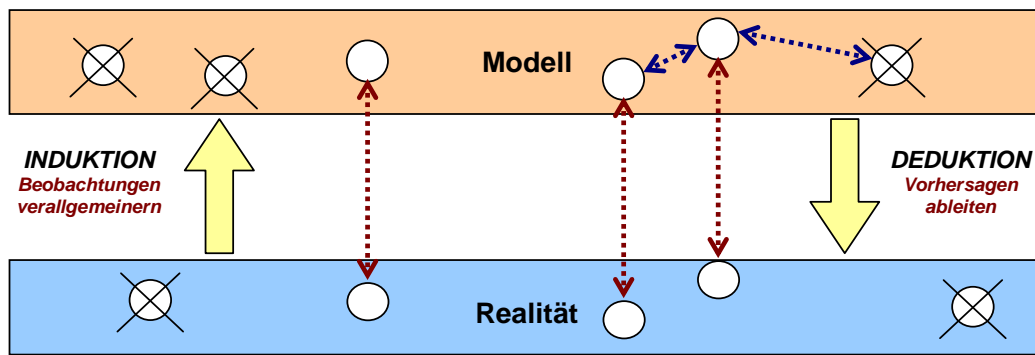


Abbildung 2: Modell und Realität. In den Naturwissenschaften können Modelle als Repräsentationen eines realen Originals aufgefasst werden, die aufgrund von Beobachtungen gebildet werden (Induktion) und Vorhersagen über zukünftige Beobachtungen zulassen (Deduktion). Einige Attribute (symbolisiert durch Kreise) des realen Systems besitzen Korrelate im Modell (angedeutet durch die roten Doppelpfeile), andere nicht (Kreise sind durchgestrichen). Die blauen Doppelpfeile deuten (hypothetische) Zusammenhänge zwischen den Attributen an.

Nach HARREIS 1986 weist der naturwissenschaftliche Modellbegriff drei wesentliche Merkmale auf:

- **Das Abbildungsmerkmal.** „Modelle sind Modelle von etwas. Modelle sind Abbildungen oder Repräsentationen von Originalen.“ (HARREIS 1986) Dabei weist das Modell Attribute auf, die sich Attributen des Originals zuordnen lassen (vergleiche Abbildung 2). Dabei sind in den Naturwissenschaften in der Regel nicht alle Attribute des Originals für direkte Beobachtungen zugänglich.
- **Das Verkürzungsmerkmal.** Im Allgemeinen stimmen Modell und Original nicht in allen Attributen überein (HARREIS 1986, vergleiche wiederum Abbildung 2).
 - Dies kann auf der einen Seite darauf zurückzuführen sein, dass Attribute des Originals unbekannt oder unzugänglich sind, oder dass kein besser geeignetes Modell zur Verfügung steht. In diesem Fall ist die Verkürzung unerwünscht, aber in einigen Gegenstandsbereichen (etwa in der Quantenphysik oder der Elementarteilchenphysik) schlechthin unvermeidlich.

- Auf der anderen Seite weisen Modelle in der Regel aber auch bewusste Verkürzungen auf mit dem Ziel, die Komplexität des Originals zu reduzieren. Dies kann wiederum einerseits dazu dienen, das Modell für die Lösung bestimmter Probleme zu optimieren und besser handhabbar zu machen. Eine Landkarte im Maßstab 1:1 in 3 Dimensionen, die auch noch Materialien und Funktionen der abgebildeten Objekte nachbildet, ist praktisch identisch mit dem Original, aber zum Zweck der Orientierung möglicherweise völlig unbrauchbar. Andererseits kann die Verkürzung auch in didaktischer Absicht geschehen, um einen Lerngegenstand für die Schüler übersichtlicher und leichter verständlich zu machen.
- **Das Anwendungsmerkmal.** Modelle können zu unterschiedlichen Zwecken entworfen und angewandt werden. Nach HARREIS 1986 besitzen naturwissenschaftliche Modelle insbesondere folgende Funktionen:
 - *Die Vorhersagefunktion.* Naturwissenschaftliche Modelle werden in der Regel dazu verwendet, hypothetische Vorhersagen über zukünftige Beobachtungen treffen zu können. Dazu werden Operationen auf der Modellebene durchgeführt, welche zu neuen Aussagen über bestimmte Modellattribute führen, die wiederum hypothetisch auf die zugeordneten Originalattribute übertragen werden. Wird die Vorhersage innerhalb eines wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses durchgeführt, kann die entsprechende Operation auf der Realebene als Experiment nachvollzogen und die Beobachtung mit der Vorhersage verglichen werden.
 - *Die Deutungsfunktion:* „Modelle dienen der Deutung beziehungsweise der Erklärung von Vorgängen, die damit unserem Denken meist erst zugänglich gemacht werden.“ (HARREIS 1986) In dieser Funktion ermöglichen Modelle unter anderem dem Naturwissenschaftler, der sich mit nicht direkt beobachtbaren Phänomenen oder Vorgängen beschäftigt, Denkoperationen in vertraute und besser zugängliche Bereiche zu verlegen. In der Physik werden hierzu häufig Analogien aus der Mechanik herangezogen, wie zum Beispiel beim Bohr'schen Atommodell oder beim Gittermodell des Festkörpers.
 - *Die Vermittlungsfunktion:* Modelle müssen kommunizierbar sein. Einerseits muss ein Wissenschaftler, der ein Modell entwickelt hat, dies anderen Wissenschaftlern mitteilen können. Andererseits muss auch ein Lehrer seinen Schülern naturwissenschaftliche Modelle vermitteln. Hierzu ist es erforderlich, dass beide Kommunikationspartner über die notwendigen Kenntnisse verfügen, die zum Verständnis des Modells erforderlich sind. Handelt es sich beispielsweise um eine Analogie (etwa das Planetenmodell des Atoms), muss der entsprechende Analogiebereich bekannt sein, handelt es sich um ein mathematisches Modell, müssen beiden Partnern die verwendeten Formalismen geläufig sein.

Der beschriebene Modellbegriff weist Überschneidungen insbesondere zu den Begriffen „Gesetz“ und „Theorie“ auf: Nach Harreis „kann ein Gesetz auch als ein Modell, und

zwar meistens als ein mathematisches Modell, bezeichnet werden“ (HARREIS 1986). Hinsichtlich des Theorie-Begriffs schlägt Harreis vor, ein Geflecht von vielen zusammengehörigen Modellen und daraus abgeleiteten Vorhersagen als Theorie zu bezeichnen. Als Beispiel nennt er die molekularkinetische Theorie der Wärme, in welche unter anderem Modelle des Festkörpers, der Flüssigkeit und des Gases einfließen.

Eine scharfe Abgrenzung zu den genannten Begriffen scheint jedoch nicht möglich und für die hier verfolgten Ziele auch nicht erforderlich zu sein. Stattdessen wird im Folgenden auf die Begriffe „Gesetz“ und „Theorie“ weitgehend verzichtet und stattdessen von unterschiedlichen Funktionen des Modells gesprochen. Insbesondere im Hinblick auf den Physikerunterricht (siehe Kapitel 3) scheint dies zur Vermeidung unnötiger begrifflicher Konfusionen angebracht zu sein.

Modelle können auf unterschiedliche Weise artikuliert werden. Man spricht dabei auch von verschiedenen *Codierungen*. In den Naturwissenschaften werden unter anderem mathematische Formeln, die Auftragung von Größen in Diagrammen, die Darstellung von Zusammenhängen mit graphischen Symbolen und Analogiebetrachtungen zu anderen (besser zugänglichen) Wirklichkeitsbereichen häufig verwendet. Liegt ein Modell in mehreren Codierungen vor, spricht man auch von *Multicodierung*.

bb) Wissenschaftstheoretische Bedeutung des Modellbegriffs

Naturwissenschaftliche Modelle werden in der Regel auf der Basis von Beobachtungen realer Vorgänge, die hypothetisch verallgemeinert werden, entwickelt. Dieser Prozess (Realitätsebene → Modellebene) wird als *Induktion* bezeichnet. Aus bestehenden naturwissenschaftlichen Modellen lassen sich hypothetische Vorhersagen über zukünftige Beobachtungen ableiten (Vorhersagemerkmale, siehe vorangegangenen Abschnitt). Dieser Prozess (Modellebene → Realitätsebene) wird als *Deduktion* bezeichnet. Dabei gibt es (insbesondere POPPER 1995) einige wichtige Aspekte zu beachten:

- Beobachtungen müssen gewissenhaft durchgeführt und präzise einschließlich aller Randbedingungen des Versuchsaufbaus dokumentiert werden, damit andere die Beobachtungen reproduzieren können. Die dabei angestrebte Objektivität des unvoreingenommenen und leidenschaftslosen Beobachters ist nicht unproblematisch: In der Regel erfolgen wissenschaftliche Beobachtungen theoriegeleitet, unter konkreten Fragestellungen und mit bestimmten Erwartungen über das Ergebnis - das anlassunabhängige Beobachten „auf Vorrat“ stellt eher die Ausnahme dar.
- Modelle ergeben sich niemals zwangsläufig aus Beobachtungen, sondern erfordern immer einen kreativen Geist, der das Modell aktiv, oft unter Einbeziehung von Analogieüberlegungen, konstruiert. Insofern ist die Induktion keine formale Methode, die bei sorgfältiger Anwendung mit Notwendigkeit zu einem bestimmten Modell als Ergebnis führt (wie in der Schule gelegentlich suggeriert wird, dazu später), sondern ein kreativer Prozess mit ungewissem Ausgang. In umgekehrter Richtung können sich überprüfbare Vorhersagen aus einem bestehenden Modell mitunter durchaus

formal ableiten lassen. Insofern besteht eine Asymmetrie zwischen Induktion und Deduktion.

- Trifft eine Vorhersage über eine Beobachtung nicht zu, ist das Modell eindeutig widerlegt (falsifiziert). Umgekehrt ist durch die Bestätigung einer Vorhersage das Modell aber nicht bewiesen (verifiziert), denn selbst nach beliebig vielen Bestätigungen kann nicht ausgeschlossen werden, dass die nächste Beobachtung das Modell widerlegt. Die Aussage „Alle Raben sind schwarz“ wird durch die Beobachtung sowohl schwarzer Raben als auch nicht-schwarzer Nicht-Raben (zum Beispiel gelbe Briefkästen) zwar durchaus als sinnvoll gestützt⁷ (HEMPEL 1983), ein einziger weißer Rabe zwingt aber bereits dazu, die Aussage fallen zu lassen. Auch zwischen Verifikation und Falsifikation besteht also eine erkenntnistheoretische Asymmetrie (POPPER 1995)
- Daraus folgt, dass jedes naturwissenschaftliche Modell immer und dauerhaft hypothetisch und somit vorläufig ist. Selbst große, komplexe und seit Jahrzehnten allgemein anerkannte Theoriegebäude können durch eine einzige (reproduzierbare) Beobachtung infrage gestellt werden, wie es etwa mit der Newtonschen Physik zum Beginn des 20. Jahrhunderts geschehen ist, die zu einem Spezialfall der Relativitätstheorie und der Quantenmechanik wurde.
- Ein naturwissenschaftliches Modell sollten daher so gestaltet werden, dass es möglichst umfangreiche und präzise, nachprüfbare, potentiell falsifizierbare Vorhersagen ermöglicht. Gelingt es der Forschergemeinschaft trotz intensiven Bemühens nicht, das Modell zu falsifizieren, ist es bis auf weiteres zu akzeptieren. Der Energieerhaltungssatz etwa wird gerade deshalb als besonders gesicherte Erkenntnis angesehen, weil sich seit Jahrhunderten tausende von Wissenschaftlern und Erfindern intensiv und doch erfolglos bemühen, ihn zu widerlegen oder zu umgehen.
- Bei gleicher Vorhersageleistung für eine gegebene Fragestellung ist das einfachere in der Regel dem komplexeren Modell vorzuziehen. Nach der Hohlwelttheorie (LANG WWW) etwa stellt die Erdoberfläche die Innenseite einer Kugel dar. Durch vollständige Inversion aller räumlichen Verhältnisse - was unter anderem zu gebogenen Lichtwegen und einem nicht erreichbaren Zentrum des Universums mit unendlich kleinen Größenverhältnissen führt - ist das Modell aber durchaus mit den Vorhersagen der Newtonschen Physik in Einklang zu bringen. Es bringt allerdings keinerlei neue Erkenntnisse und ist dabei extrem aufwändig. Es können aber auch durchaus verschiedene Modelle für denselben Sachverhalt nebeneinander Bestand haben, wenn sie für unterschiedliche Anwendungen oder Fragestellungen besonders praktikabel sind oder besonders präzise Vorhersagen liefern.

⁷ Das so genannte „Raben-Paradoxon“ stammt von Karl Gustav Hempel, dem Begründer des *logischen Positivismus*. Karl Popper als bedeutendster Vertreter des *kritischen Rationalismus* bezieht sich auf dieses Beispiel mit der Intention, seinen eigenen wissenschaftstheoretischen Ansatz zu stützen.

c) Modelle in der Lern- und Erkenntnistheorie

Praktisch von Geburt an entwickelt der Mensch (unbewusst) Modelle von seiner Umwelt. Bereits im Säuglingsalter beginnt er damit, das allgemeine Durcheinander von Sinneseindrücken in seinem Kopf zu strukturieren. So ist es offenbar sinnvoll, trotz aller Veränderungen eine Welt anzunehmen, die aus zusammenhängenden Einheiten, den Gegenständen, besteht und sich in drei Dimensionen ausdehnt. Offenbar steckt der Wahrnehmende selbst in einem Körper, der auch ein solcher Gegenstand ist und der im Raum eine Orientierung einnimmt, die eine Rolle dabei spielt, welchen Ausschnitt seiner Umgebung er wahrnehmen kann. Im Laufe seines Lebens baut der Mensch dieses erste, elementare Modell zu einem umfassenden Abbild der ihn umgebenden Welt aus, welches ihm ermöglicht, sich in dieser Welt zurecht zu finden, zu handeln und Entscheidungen zu treffen. (GINSBURG / OPPER 1998).

Gerade die frühkindlichen, vorsprachlichen Modelle erweisen sich als besonders resistent gegen jeden Versuch der Veränderung. Kant spricht dabei von den Kategorien, die keine Eigenschaften der „Dinge an sich“ sind, sondern a priori (vor aller individuellen Erfahrung) fest in unserem Denken verankerte Grundannahmen, mit deren Hilfe wir alles Wahrgenommene strukturieren und die wir gedanklich prinzipiell nicht überwinden können (KANT 1787).

Die evolutionäre Erkenntnistheorie (VOLLMER 1988) spricht von einer genetischen Determinierung menschlicher Erkenntnis aufgrund einer evolutionären Anpassung des Erkenntnisapparates an die reale Welt. Danach stimmen Erkenntnisse der Menschen über die Natur gerade soweit mit den realen Strukturen überein, wie es sich für das Überleben im Laufe der Jahrtausende als nützlich herausgestellt hat.

Es ist festzuhalten, dass es (vermutlich) einen Kernbestand von Strukturierungsmerkmalen und impliziten Grundannahmen über die Welt gibt, die der Mensch bereits entwickelt, bevor er zum ersten Mal bewusst über etwas nachdenkt und die kaum zu überwinden sind. Beispielsweise sind unsere Begriffe von Raum, Zeit und Kausalität bereits seit über 200 Jahren als nicht uneingeschränkt gültig erkannt worden, was wir zwar inzwischen präzise mathematisch beschreiben, aber nicht wirklich begreifen können. Unmittelbar für die Vorstellung zugänglich ist nur der so genannte *Mesokosmos*⁸ (VOLLMER 1988) mit den darin gültigen Gesetzen und vorkommenden Längen, Zeiten und Geschwindigkeiten. In Kapitel 3 spielen auch diese Überlegungen eine Rolle.

⁸ Der Mesokosmos bildet den Übergang zwischen Mikrokosmos (Atome, Quantenobjekte, etc.) und Makrokosmos (Planetensysteme, Galaxien, etc.). Es ist der Ausschnitt der Wirklichkeit, der dem Menschen unmittelbar durch Sinneswahrnehmung zugänglich ist. Beispielsweise umfasst er Längen von Millimeter bis Kilometer, Zeitspannen von Sekunden bis Jahren und Geschwindigkeiten von etwa 0 bis 40 km/h.

2.1.2.2 Didaktisches Potential des Modellbegriffs

Weniger als 35% der Schüler der gymnasialen Oberstufe belegen im Bundesdurchschnitt einen Kurs in Physik. Von diesen wählen etwa 65% den Kurs wieder ab, sobald sie die Möglichkeit dazu haben (VOLLMER 2000), sodass insgesamt nur etwa 12% der Oberstufenschüler die Einführung der Atom- und Quantenphysik in der Jahrgangsstufe 13 miterleben, sofern diese überhaupt angeboten wird. Durch Maßnahmen wie etwa die anstehende Verkürzung der Schulzeit um 1 Jahr in Nordrhein-Westfalen und die damit notwendig einhergehende Straffung des Lehrplans (MSW-NRW 2005) steigt noch dazu die Wahrscheinlichkeit, dass diese Inhalte gar nicht mehr behandelt werden.

Die Einführung der Atom- und Quantenphysik ist aber meist das erste Mal, dass den Schülern die wichtige Erkenntnis vermittelt wird, dass sie im naturwissenschaftlichen Unterricht nicht nur einfach direkt überprüfbare Einzelfakten lernen - etwa welche Pole zweier Magneten einander anziehen und abstoßen, oder wie sich an einem Hebel die Positionen und Massen angehängter Gewichtsstücke verhalten - sondern eben mit Modellen konfrontiert werden, die sehr viel allgemeinere Aussagen zulassen, dafür aber immer hypothetisch bleiben.

Sofern diese Erkenntnis überhaupt zu den Schülern durchdringt, kann sie doch oft nicht mehr auf andere Bereiche übertragen werden, sondern bleibt als eigentümliches Kuriosum der Quantenphysik in den Köpfen zurück und erhöht eher die Skepsis gegenüber dem Fach - in allen anderen Fällen ist (nach Meinung der Schüler) schließlich völlig klar, was richtig und was falsch ist. Auf diese Weise kann die Quantenphysik für die Schüler in die Nähe Esoterik gerückt werden.

Daher wäre es wünschenswert, wenn sich die Schüler frühzeitiger, expliziter und bei weniger unzugänglichen Themen mit der Modellhaftigkeit physikalischer Erkenntnis auseinandersetzen müssten, und zwar unter anderem aus folgenden Gründen:

- Den Schülern werden treffendere Vorstellungen von wissenschaftlicher Erkenntnis und wissenschaftlichem Forschen vermittelt. Dies hilft zum einen bei einem mündigen und reflektierten Umgang mit gesellschaftlich relevanten Themen. Zum anderen wird die grundsätzliche Erschütterung des Wissenschaftsbildes verhindert oder zumindest relativiert, die durch die verhältnismäßig einseitige und gemessen am Kenntnisstand der Schüler zu frühzeitige Einführung in die Quantenphysik droht (deren Notwendigkeit hier nicht weiter diskutiert wird).
- Diskrepanzen zwischen Physikunterricht und Alltagserfahrung gibt es immer wieder. Der Impulserhaltungssatz etwa scheint fundamental der Erfahrung zu widersprechen, dass jede Bewegung ohne ständigen Antrieb irgendwann aufhört. Werden solche Widersprüche nicht aufgegriffen und aufgelöst, können sie den fatalen Eindruck erwecken, Physik gelte nur im Labor und nicht im täglichen Leben. Durch die explizite Thematisierung hingegen werden die Grenzen beider Modelle deutlich: Im Modell, das der Physikunterricht vermittelt, wird um der einfacheren Lösbarkeit wil-

len die Komponente Reibung verschwiegen, im Alltagsmodell werden eigentlich unabhängige Größen (Geschwindigkeit, Antriebskraft, Reibungskraft) in einem wenig ausdifferenzierten Modell vermischt.

- Auch in der Lebenswelt der Schüler gibt es gelegentlich Phasen, in denen sie an die Grenzen ihrer bis dahin erworbenen Modellvorstellungen stoßen. Eine dieser Phasen ist die des Führerscheinerwerbs und der folgenden, ersten eigenständigen Erfahrungen mit hohen Geschwindigkeiten im Straßenverkehr. Verschiedene im Verkehr wichtige Größen wie die Zentripetalkraft (beim Kurvenfahren), der Bremsweg (bei Vollbremsungen) und die kinetische Energie (beim Aufprall auf ein Hindernis) sind quadratisch von der Geschwindigkeit abhängig. Beim Laufen spielen diese Größen eine untergeordnete Rolle, ein Fußgänger kann loslaufen, stehen bleiben oder wenden ohne merkliche Beschleunigungsstrecke. Werden die Modelle aufgrund dieser Erfahrungen jedoch unreflektiert beim Führen eines Kraftfahrzeugs übernommen, kann das schwerwiegende Folgen haben. Zwar werden auch beim Fahrradfahren bereits erste Erfahrungen insbesondere mit den Querkraften gemacht, in Kraftfahrzeugen sind die Geschwindigkeiten aber um ein Vielfaches höher. Noch dazu erwecken diese aufgrund der Abschirmung gegen die Außenwelt leicht den Eindruck, diesen Kräften in geringerem Maße zu unterliegen als ein Zweirad.

Ein konkreter Vorschlag, wie die Modellhaftigkeit physikalischer Erkenntnis in eine Unterrichtsreihe eingebaut werden könnte, ist in Kapitel 3 ausgeführt.

Im Übrigen sind alle beschriebenen Funktionen naturwissenschaftlicher Modelle (siehe Abschnitt 2.1.2.1ba) im Unterricht wichtig und nützlich:

- Die Vorhersagefunktion kann dazu verwendet werden, durch Deduktion zu überprüfen, ob Vorhersagen aufgrund eines von Schülern entwickelten Modells mit Beobachtungen am realen Gegenstand vereinbar sind. Diese Funktion kommt im Unterricht in besonderem Maße quantitativen Modellen zu, die auch über mathematisch-formale Anteile verfügen.
- Die Deutungsfunktion ist wichtig, um Beobachtungen interpretieren und erklären zu können. Für diese Funktion sind besonders anschauliche Analogie-Modelle geeignet, durch welche abstrakte und schwer vorstellbare Gegenstände oder Vorgänge verständlich und handhabbar gemacht werden können.
- Die Vermittlungsfunktion des Modells nutzt der Lehrer, um den Schülern Modelle zu vermitteln, die der physikalischen Wissenschaft entstammen, aber auch, um von den Schülern Informationen über bereits vorhandene Alltagsmodelle zu erhalten, um diese gegebenenfalls im Unterricht aufzugreifen und zu prüfen.

2.1.2.3 Grundlegende Prinzipien der Systemdynamik

a) *Ursprünge und Ziele der Systemdynamik*

Die Idee der Systemdynamik (system dynamics) hat ihren Ursprung etwa um 1960 in der Arbeitsgruppe von J. W. Forrester an der Sloan School of Management (SSM) des Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge, Massachusetts. Es handelt sich dabei allgemein gesagt um eine Methode zur Beschreibung, Modellierung und Simulation dynamischer Systeme, insbesondere sofern es sich um geschlossene Wirkungsketten (feedback loops) handelt. Was dabei unter Modellierung und Simulation zu verstehen ist, was ein dynamisches System ist und was die spezielle Methode charakterisiert, wird in den nächsten Abschnitten beleuchtet.

Aufschlussreich ist für die weiteren Überlegungen, dass es sich beim MIT zwar um eine technische Hochschule, bei der SSM aber um eine Business School handelt, an der angehende Führungskräfte in Wirtschafts- und Management-Theorie ausgebildet werden. Themen der ersten Arbeiten zur Systemdynamik (SD) waren folgerichtig auch nicht etwa technisch oder naturwissenschaftlich ausgerichtet, sondern ökonomisch. „Industrial Dynamics“ hieß Forresters erste einschlägige Veröffentlichung (FORRESTER 1961).

Bis heute findet die SD den breitesten Einsatz in den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften, um das zukünftige Verhalten komplexer ökonomischer oder sozialer Systeme zu simulieren, die Auswirkungen geplanter Eingriffe vorherzusagen und diese zur Entscheidungsfindung heranzuziehen.

b) *Der Begriff des dynamischen Systems*

Der Begriff des Systems ist abgeleitet vom griechischen Wort *συστεμα*, übersetzbar etwa mit „das Verbundene“. Ein System besteht also aus Elementen, die auf irgendeine Weise miteinander in Beziehung stehen. Welche Elemente dazugehören und welche nicht, wird durch die Wahl der Systemgrenzen bestimmt. Ein geschlossenes System lässt sich völlig isoliert betrachten und verstehen, da es keinerlei Wechselwirkungen mit seiner Umgebung vollzieht, in einem offenen System müssen eingehende und ausgehende Einflüsse benachbarter Systeme berücksichtigt werden.

Viele Systeme lassen sich in Subsysteme gliedern, die selbst wieder miteinander wechselwirkende Elemente und Subsysteme besitzen können. Beispielsweise könnte man den Motor als Element des Systems Kraftfahrzeug auffassen, das die Antriebskraft liefert, der Motor selbst ist aber ebenfalls wieder ein komplexes System aus Kolben, Ventilen, Nockenwelle und vielen weiteren Elementen. Andererseits kann auch das System selbst als Teil eines übergeordneten Systems betrachtet werden, etwas das Kraftfahrzeug im Straßenverkehr.

Von einem dynamischen System sprechen wir dann, wenn sich der Zustand des Systems mit der Zeit ändert und es genau diese zeitliche Änderung ist, die uns interessiert. Der

Systemzustand zu einem bestimmten Zeitpunkt wird dabei definiert durch den Zustand aller seiner Elemente (OSSIMITZ WWW).

c) Modellierung und Simulation dynamischer Systeme

Was ist nun mit Modellierung und Simulation solcher Systeme gemeint? Zur Klärung des ersten Begriffs erfolgt ein Rückgriff auf die Ausführungen in Abschnitt 2.1.2.1. Die Modellierung eines Systems besteht eben darin, aus Beobachtungen in einem realen System ein Modell zu konstruieren, welches das dynamische Verhalten des Realsystems so genau wie möglich beschreibt und vorhersagt.

Beim Begriff der Simulation gilt es nun, Verwirrung zu vermeiden. So wird in Abschnitt 2.1.3 der Begriff der Computersimulation als ein bestimmter Typ Lernsoftware eingeführt, die mit animierten graphischen Darstellungen arbeitet. Wenn im Zusammenhang mit der Systemdynamik von Simulation die Rede ist, geht es jedoch um die Berechnung von Systemzuständen mit Hilfe eines quantitativen Modells unter Nutzung numerisch iterativer Rechenverfahren.

Dabei liegt prinzipiell der Ansatz zugrunde, die kontinuierlich vergehende Zeit in kleine, aber endliche Intervalle dt einzuteilen, um dann jeweils aus einem aktuellen Systemzustand $S(t)$ den darauf folgenden Systemzustand $S(t+dt)$ zu berechnen. Man spricht auch von einer Diskretisierung kontinuierlicher dynamischer Prozesse.

Bevor in den Abschnitten f) bis h) drei Iterationsverfahren genauer vorgestellt werden, wird nun zunächst der Aufbau eines Systems in der Sprache der Systemdynamik thematisiert.

d) Systemdynamische Flussdiagramme

Es geht nun also um die Frage, auf welche Weise ein reales System in einem systemdynamischen Modell abgebildet wird. Ein besonderes Merkmal, das für unsere didaktischen Überlegungen noch wichtig sein wird, ist die Möglichkeit der Konstruktion beliebig komplexer Systeme aus elementaren Bausteinen und mit mathematisch elementaren Zusammenhängen. Bei diesen elementaren Bausteinen handelt es sich um verschiedene Arten von Größen und Wechselwirkungen, die im Folgenden konkretisiert werden.

Um die Modelle zu formulieren, kann in einem ersten Schritt mit einem so genannten Wortmodell begonnen werden. Besonders interessant ist aber die Möglichkeit, systemdynamische Flussdiagramme zu nutzen, die von Forrester eingeführt wurden und bis heute (mit kleinen Abwandlungen) einen über Fachbereichsgrenzen hinweg etablierten Standard bilden.

Die verwendeten Symbole sind in Abbildung 3 abgebildet, ihre Bedeutung innerhalb systemdynamischer Modelle wird im Folgenden vorgestellt.

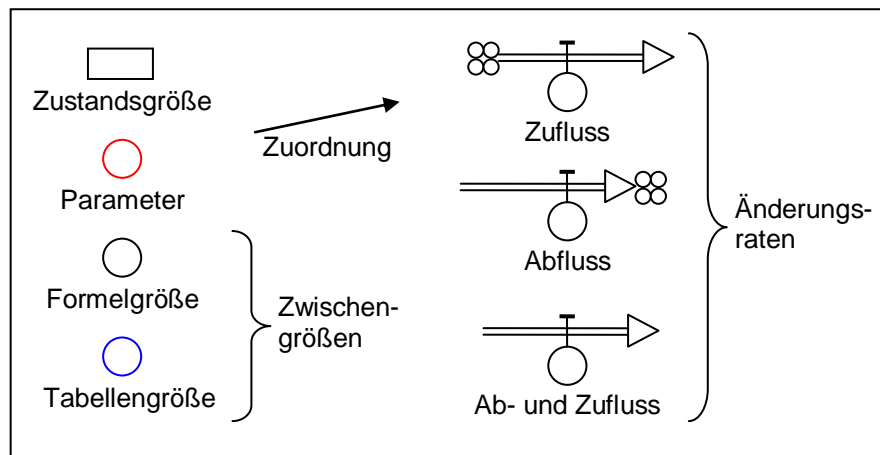


Abbildung 3: Grundelemente systemdynamischer Flussdiagramme. Zustandsgrößen sind Bestandsgrößen und können nur durch Abflüsse oder Zuflüsse abhängig vom Zeitintervall geändert werden. Zwischengrößen können direkt aus dem aktuellen Systemzustand berechnet werden.

■ Zustandsgrößen⁹

werden auch Speichergrößen oder Bestandsgrößen genannt. Ihr Wert lässt sich nicht direkt berechnen, wohl aber ihre Änderung innerhalb eines Zeitintervalls. Sie werden gern verglichen mit dem Wasserstand in einem Gefäß, dessen Starthöhe eine gegebene Randbedingung ist und der sich nur durch Hinzufügen oder Entnehmen von Wasserportionen ändern lässt. Sind die Werte aller Zustandsgrößen bekannt, ist damit der Zustand eines dynamischen Systems zu einem gegebenen Zeitpunkt eindeutig bestimmt.

■ Änderungs-raten

bestimmen, um welche Differenz sich eine Zustandsgröße in einem bestimmten Zeitintervall ändert. Sie sind vergleichbar mit einer Rohrleitung, durch die Wasser in besagtes Gefäß hinein oder heraus fließen kann, wobei ein Ventil die Durchflussgeschwindigkeit bestimmt. Sie sind also nichts anderes als erste Ableitungen der Zustandsgrößen nach der Zeit. In einem zeitlichen Diagramm geben sie darum stets die aktuelle Steigung an. Je nach Vorzeichen der Änderung unterscheidet man

- *Zuflüsse* bei positiver Änderung (der Pfeil zeigt zur Zustandsgröße hin) und
- *Abflüsse* bei negativer Änderung (der Pfeil zeigt von der Zustandsgröße weg).

Wird eine Zustandsgröße immer im gleichen Maße größer, wie eine andere kleiner wird, kann der Zufluss der einen gleichzeitig Abfluss der anderen sein.

Es sei hier bereits vorweggenommen, dass diese Unterscheidung bei vielen physikalischen Systemen problematisch, bei einigen sogar unsinnig ist, da sich bei physikalischen Vorgängen die Vorzeichen der Größen ändern können. Insbesondere bei vektoriellen Größen ist eine solche Unterscheidung nicht möglich.

⁹ Der Begriff der Zustandsgröße in der Systemdynamik besitzt durchaus Überschneidungen mit dem entsprechenden Begriff in der Physik, kann aber keineswegs gleichgesetzt werden.

■ **Zwischengrößen**

nehmen in Abhängigkeit von anderen Größen einen Wert an, der sich zu jedem Zeitpunkt vollständig berechnen lässt. Zur Bestimmung des Systemzustandes sind sie also nicht erforderlich, können aber natürlich trotzdem interessieren.

Die Werte der Zwischengrößen können dabei auf unterschiedliche Weise ermittelt werden:

- *Formelgrößen* berechnen ihren Wert aus einer mathematischen Rechenvorschrift, in der andere Größen vorkommen können. Wünschenswert ist auch hier die Reduktion auf möglichst elementare Zusammenhänge (Basisgesetze).
- *Tabellengrößen* greifen auf eine Tabelle mit Wertepaaren, etwa aus einer Messung in einem Realexperiment, zurück. Der Wert der Eingangsgröße wird mit den Werten in der linken Spalte verglichen und der entsprechende Wert auf der rechten Seite angenommen. Zwischenwerte werden interpoliert.

Es handelt sich aber um die gleiche Größenart innerhalb des Systems, lediglich die Quelle der Daten unterscheidet sich.

■ **Parameter**

sind Größen, die nicht durch das System beeinflusst werden. Man unterscheidet auch hier wiederum zwei Arten von Parametern:

- *Konstanten* bleiben über den gesamten simulierten Zeitraum unverändert.
- *Exogene Größen* werden durch systemexterne Bedingungen beeinflusst.

■ **Zuordnungen**

werden auch Einflusspfeile genannt und zeigen an, dass eine Größe durch eine andere beeinflusst wird. Dies ist immer dann der Fall, wenn eine Größe in einer Rechenvorschrift vorkommt, was (in diesem Grundmodell) nur bei Formelgrößen und Änderungsraten der Fall sein kann.

e) **Numerische Iteration**

Die quantitative Beschreibung und Vorhersage ist eine der wichtigsten Aufgaben der naturwissenschaftlichen Forschung. Über Jahrhunderte waren die Wissenschaftler auf geschlossene, analytische Verfahren angewiesen. Das führte einerseits zu einem bemerkenswerten Ideenreichtum bei der Erschaffung immer präziserer mathematischer Werkzeuge, andererseits war man stets gezwungen, die Komplexität der Systeme in Grenzen zu halten, da zu viele zu kalkulierende Variablen eine geschlossene Lösung unmöglich machen. Seit der Erfindung der ersten Computer sind daher numerische Lösungsverfahren auf dem Vormarsch. Sie haben analytische Verfahren nicht abgelöst, aber das Spektrum handhabbarer Probleme (aufgrund der Möglichkeit nahezu beliebig komplexer, mathematischer „Gedankenexperimente“) massiv erweitert.

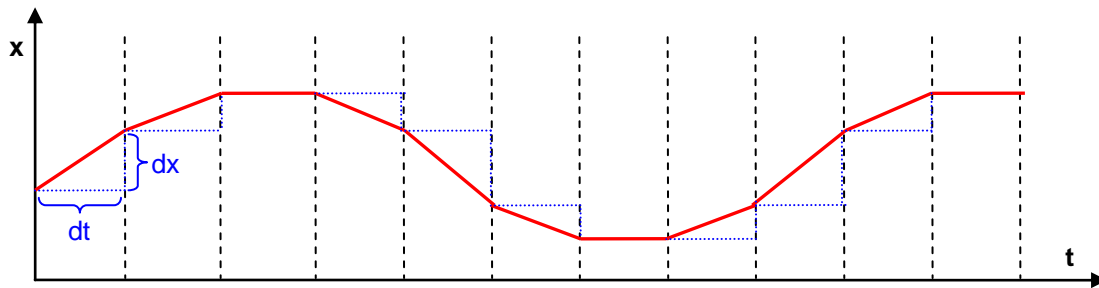


Abbildung 4: Numerische Iteration. Die Zeit wird in kleine Intervalle dt diskretisiert. Aus einem Zustand zum Zeitpunkt t wird der Zustand zum Zeitpunkt $t+dt$ berechnet, indem die Steigung dx/dt für das gegebene Zeitintervall bestimmt und angewendet wird, mit dem neuen Zustand wird wieder genauso verfahren. Im Gegensatz zu analytischen Verfahren kann kein Grenzübergang für $dt \rightarrow 0$ vollzogen werden, es bleibt also bei einer linearen Approximation.

Die Grundidee ist dabei, den Zeitverlauf in sehr kleine Zeitintervalle dt zu diskretisieren und aus einem aktuellen, bekannten Systemzustand $S(t)$ jeweils den darauf folgenden Zustand $S(t+dt)$ zu errechnen, wodurch man insgesamt eine Aufeinanderfolge sehr vieler, scheinbar diskreter Systemzustände erhält, die wie Messwerte eines Versuches für beliebige weitere Auswertungen zur Verfügung stehen. Wie dies für eine einzelne Systemgröße aussehen kann, illustriert Abbildung 4.

Zur Berechnung des nachfolgenden Zustandes wird nun angenommen, dass sich die Änderungen aller Zustandsgrößen des Systems bei hinreichend kleinem Intervall dt sinnvoll linear approximieren lassen. Für alle eigentlich nicht-linearen Zusammenhänge ergibt sich dadurch bei jeder Berechnung ein Fehler, der prinzipiell mit der Intervallgröße zunimmt. Anders als in der Analysis kann aber kein Grenzübergang für $t \rightarrow 0$ durchgeführt werden. Wird das Zeitintervall zu klein gewählt, steigt der Fehler sogar wieder (siehe Abbildung 5).

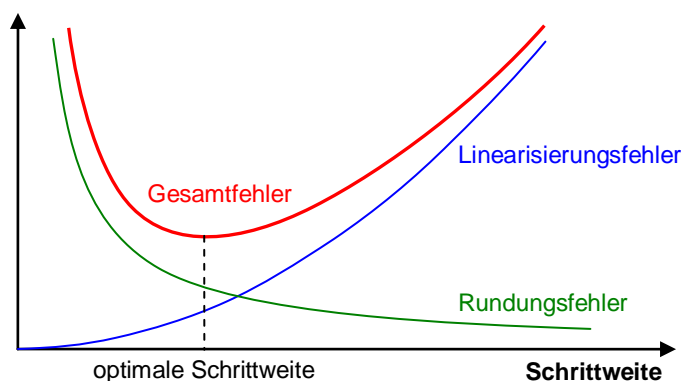


Abbildung 5: Optimierung der Schrittweite numerischer Verfahren.

Wird das Iterationsintervall zu klein gewählt, überwiegt der Fehler durch die endliche Rechengenauigkeit, wird es zu groß gewählt, überwiegt der Fehler durch die lineare Näherung, wie durch die nebenstehende, schematische Skizze (nach MÜLLER 2005) verdeutlicht wird. Die optimale Schrittweite entspricht dem Minimum des Gesamtfehlers.

Das liegt daran, dass Computer ihre Berechnungen immer nur mit einer begrenzten Genauigkeit durchführen und daher bei jedem Rechenschritt ein kleiner Rundungsfehler auftritt. Bei sehr kleinen Intervallen überwiegt daher der Anteil dieses numerischen Fehlers den Genauigkeitsgewinn bei der linearen Näherung. Wie groß der Fehler aufgrund der Linearisierung ausfällt, hängt von dem verwendeten Algorithmus ab. Drei gebräuchliche Iterationsverfahren werden in den folgenden Abschnitten dargestellt.

f) Euler-Cauchy-Verfahren

Der Algorithmus von Euler und Cauchy ist der einfachste Vertreter seiner Art. Die Änderungsrate zum Beginn des Zeitintervalls wird unmittelbar für das gesamte Intervall dt als Steigung m herangezogen. Für eine Zustandsgröße z gilt also:

$$z(t_0 + dt) = z(t_0) + m(t_0) \cdot dt$$

Aus diesem Zustand $z(t_0 + dt)$ wird dann wieder der nächste Zustand $z(t_0 + 2 \cdot dt)$ berechnet, und so fort.

Nun gibt es in einem System aber in aller Regel mehrere Größen. Wenn sich beispielsweise ein harmonischer Oszillator zu einem Zeitpunkt t_0 am Ort s befindet und sich mit einer Momentangeschwindigkeit v bewegt, wobei eine Beschleunigung $a = -(D/m) \cdot s$ auf ihn wirkt, so ändert sich danach die Geschwindigkeit um $dv = a \cdot dt$ und der Ort um $ds = v \cdot dt$ (Modell siehe Abbildung 6). Und damit gelangen wir bereits zu einem Problem, das für die anderen vorgestellten Verfahren genauso Gültigkeit hat: In welcher Reihenfolge sollen die einzelnen Größen berechnet werden, bzw. welches v und welches a soll jeweils Verwendung finden?

Wird etwa (wie es bei der programmiertechnischen Umsetzung solcher Verfahren durchaus üblich ist) erst a berechnet, mit diesem neuen a dann v , und mit diesem neuen v dann s , so steckt in diesem Vorgehen mehr Willkür, als auf den ersten Blick sichtbar wird: Mit $s(t_0)$ wird $a(t_0)$ berechnet, mit $a(t_0)$ dann $v(t_0+dt)$, und mit $v(t_0+dt)$ dann wieder $s(t_0+dt)$. Teilweise wird also der Anfang, teilweise das Ende des Intervalls herangezogen. Dies führt zwar in diesem konkreten Fall sogar zu positiven Effekten auf die Genauigkeit, ist aber für geschlossene Wirkungsketten relativ willkürlich. Gerade bei komplexeren Systemen hat bei dieser Art der Realisierung die Sortierung der Gleichungen einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis, ohne dass diese selbst einem Verfahren entspringt - ein Programm kann sie unmöglich aus dem Flussdiagramm extrahieren.

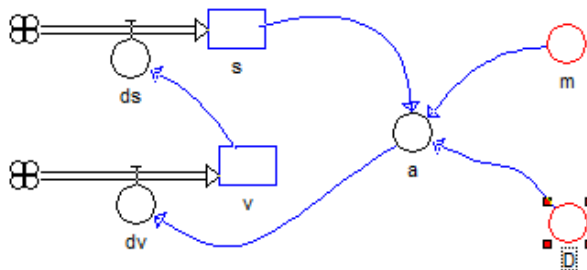


Abbildung 6: Modell eines harmonischen Oszillators. Wie leicht zu erkennen ist, handelt es sich um eine geschlossene Wirkungskette, für die sich kein objektiver Anfang finden lässt.

Modellbildungssysteme arbeiten daher im Allgemeinen mit so genannten Schattensystemen: Der aktuelle Zustand aller Größen zum Zeitpunkt t wird in das Schattensystem kopiert. Für alle Berechnungen, die für die Bestimmung des Systemzustandes zum Zeitpunkt $t+dt$ erforderlich sind, werden diese Werte herangezogen. Für unser Beispiel hieße das, dass auch zur Berechnung des Ortes nicht $v(t+dt)$, sondern $v(t)$ verwendet wird.

Auf diese Weise erhält man ein standardisiertes Verfahren, das von willkürlichen Reihenfolgen und Startpunkten unabhängig ist.

Die Kehrseite ist, dass nun die Ungenauigkeiten des Rechenverfahrens vollständig auf das Endergebnis durchschlagen. Das Ergebnis im Falle des harmonischen Oszillators ist in Abbildung 7 zu sehen: Die Amplitude der Schwingung wird - physikalisch unsinnigerweise - immer größer.

Ein solches Systemverhalten zeigt sich bei Anwendung des Euler-Cauchy-Algorithmus für nahezu alle periodischen Vorgänge, was dieses Verfahren für bestimmte Anwendungsgebiete unbrauchbar macht: Die Einzelfehler heben sich im zeitlichen Mittel nicht etwa auf, sondern addieren sich zu einem exponentiell anwachsenden systematischen Fehler. Die nachfolgend beschriebenen Verfahren sind zwar rechnerisch aufwändiger, liefern für derartige Anwendungsgebiete aber bessere Ergebnisse.

Zeitdiagramm :

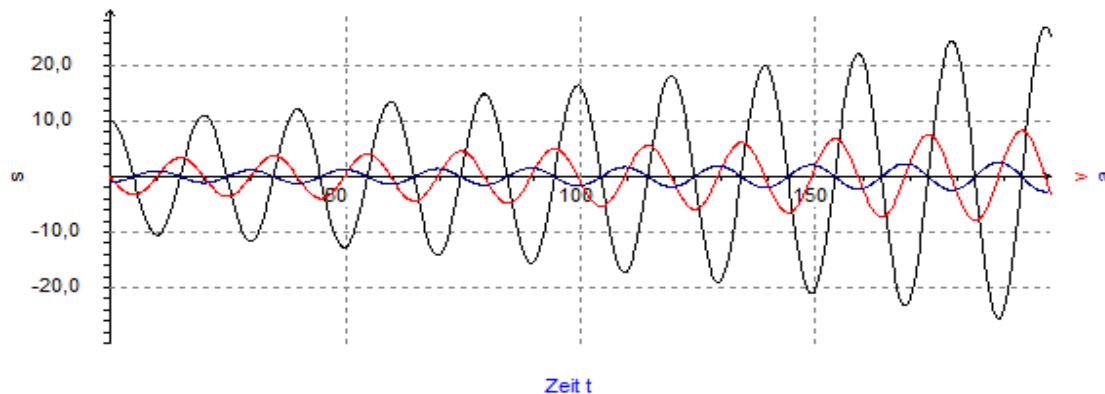


Abbildung 7: Harmonischer Oszillator mit dem Euler-Cauchy-Verfahren. Gerade bei periodischen Systemen können sich die Fehler ungünstig aufsummieren und stetig anwachsende Abweichungen hervorrufen, so wie in diesem Fall zu einer größer werdenden Amplitude.

g) Halbschritt-Verfahren

Das in Abbildung 8 veranschaulichte Halbschritt-Verfahren ist eine Erweiterung des Euler-Cauchy-Verfahrens (daher auch „Improved Euler“ genannt).

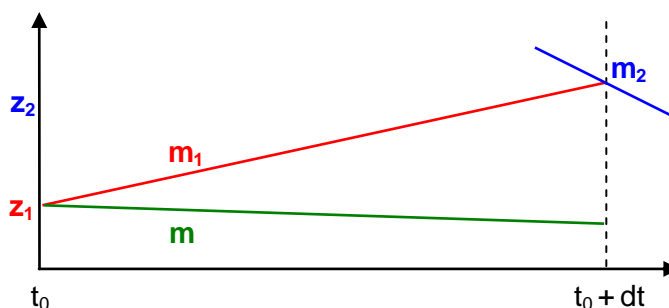


Abbildung 8: Halbschritt-Verfahren. Die Steigung m_1 zum Zeitpunkt t_0 wird auf z_1 angewandt. Man gelangt zu z_2 bei $t_0 + dt$, wo die Steigung m_2 berechnet wird. Die gesuchte Steigung m entspricht dem Mittelwert aus m_1 und m_2 .

- Hierbei wird zunächst (wie zuvor) durch zeitliche Ableitung die Steigung m_1 zum Zeitpunkt t_0 bestimmt. Die Größe z hat zu diesem Zeitpunkt den Wert z_1 :

$$z_1 = z(t_0) \qquad m_1 = z'(z_1; t_0)$$

- Die Steigung m_1 wird auf z_1 angewandt und führt zu einem neuen Wert z_2 . Die Steigung an dieser Stelle nennen wir m_2 :

$$z_2 = z_1 + m_1 \cdot dt \qquad m_2 = z'(z_2; t_0 + dt)$$

- Aus diesen beiden Steigungen wird nun das arithmetische Mittel gebildet, um die eigentlich gesuchte Steigung zu erhalten, die dann zur Berechnung des neuen Zustandes von z verwendet wird:

$$z(t + dt) = z(t) + m \cdot dt \qquad m = \frac{m_1 + m_2}{2}$$

Mit dem Verfahren wird also der Mittelwert aus den Steigungen zu Beginn und am Ende eines gegebenen Zeitintervalls gebildet. Dieses Verfahren bringt bereits erheblich bessere Ergebnisse als das einfache Euler-Cauchy-Verfahren, verdoppelt allerdings auch den Rechenaufwand.

h) Runge-Kutta-Verfahren

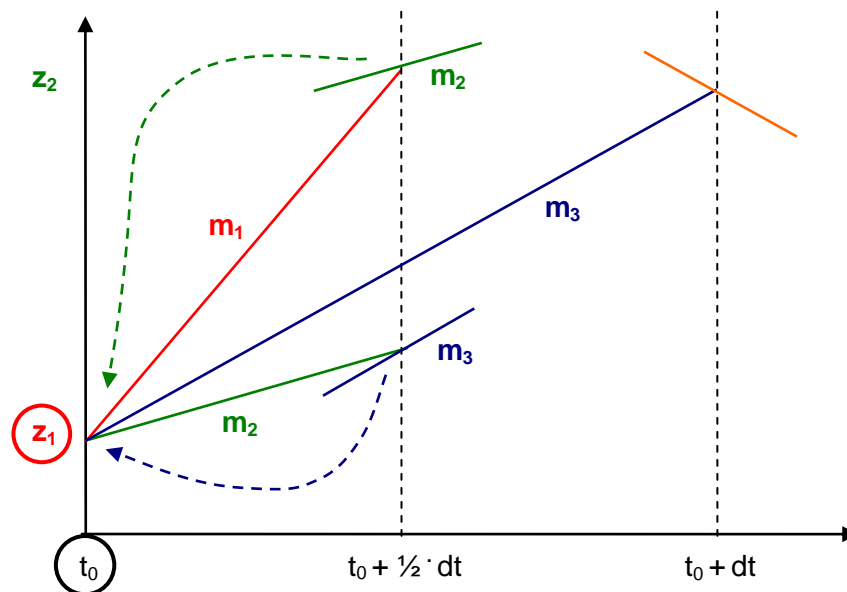


Abbildung 9: Runge-Kutta-Verfahren. Es werden 4 Hilfssteigungen m_n gebildet, von denen die ersten 3 auf den Wert z_1 zum Zeitpunkt t_0 angewendet werden, um jeweils die nächste Steigung und den nächsten Wert zu ermitteln, die ersten beiden jedoch nur für das halbe Zeitintervall. Die Gesamtsteigung ergibt sich durch das gewichtete Mittel aus m_1 bis m_4 .

Das Verfahren von Runge und Kutta ist mathematisch noch etwas aufwändiger, liefert aber in den meisten Fällen auch noch bessere Ergebnisse. Wie auch das Halbschrittver-

fahren lässt es sich nur auf kontinuierliche Systeme anwenden, für diskrete Systeme ist es ungeeignet.

Die eigentliche Iteration erfolgt wie bei den beiden zuvor besprochenen Verfahren durch lineare Approximation innerhalb des Zeitintervalls dt .

$$z(t+dt) = z(t) + m \cdot dt$$

Der wesentliche Unterschied besteht in der Bestimmung der Steigung m , welche als gewichtetes Mittel von 4 Hilfssteigungen angegeben wird:

$$m = \frac{m_1 + 2 \cdot m_2 + 2 \cdot m_3 + m_4}{6}$$

Diese Hilfssteigungen werden in mehreren, aufeinander folgenden Verfahrensschritten gebildet, die in Abbildung 9 veranschaulicht sind und hier nun kurz erläutert werden:

- Den Ausgangspunkt bildet der Wert z_1 der Zustandsgröße z zum Zeitpunkt t_0 , wo die Steigung m_1 vorliegt:

$$z_1 = z(t_0) \qquad m_1 = z'(z_1; t_0)$$

- Die Steigung wird auf die Zustandsgröße z zum Zeitpunkt t_0 angewandt, aber nicht bis zum Ende des Zeitintervalls dt , sondern nur bis zur Mitte. An dieser Stelle wird erneut die Steigung bestimmt, welche m_2 heißen soll:

$$z_2 = z_1 + m_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot dt \qquad m_2 = z'(z_2; t_0 + \frac{1}{2} \cdot dt)$$

- Diese Steigung m_2 wird wiederum auf die Größe z zum Zeitpunkt t_0 angewandt, wiederum nur bis zur Mitte des Zeitintervalls dt , und wieder wird an dieser Stelle die Steigung bestimmt, welche nun m_3 heißen soll:

$$z_3 = z_1 + m_2 \cdot \frac{1}{2} \cdot dt \qquad m_3 = z'(z_3; t_0 + \frac{1}{2} \cdot dt)$$

- Schließlich wird auch die Steigung m_3 wieder auf die Größe z zum Zeitpunkt t_0 angewandt, diesmal aber bis zum Ende des Intervalls dt . Die Steigung am Ende dieses Intervalls ist unsere letzte Hilfssteigung m_4 :

$$z_4 = z_1 + m_3 \cdot dt \qquad m_4 = z'(z_4; t_0 + dt)$$

- Nun werden die vier Hilfssteigungen in die Gleichung zur Berechnung des gewichteten Mittels eingesetzt und die so ermittelte Steigung m zur Bestimmung des neuen Wertes der Zustandsgröße z verwendet:

$$z(t+dt) = z(t) + m \cdot dt \qquad m = \frac{m_1 + 2 \cdot m_2 + 2 \cdot m_3 + m_4}{6}$$

Sofern es sich nicht um diskrete Systeme handelt und der Rechenaufwand kein Problem darstellt, ist das Runge-Kutta-Verfahren meist der Algorithmus der Wahl (GOLDKUHLE WWW)

2.1.2.4 Didaktisches Potential der Systemdynamik

Die aktuell vorherrschende Einstellung der Lehrerschaft scheint nach subjektiver Einschätzung des Autors immer noch darin zu bestehen, dass ein Problem erst dann ordentlich und zufrieden stellend im Unterricht behandelt wurde, wenn die „richtigen“ Gleichungen an der Tafel gestanden¹⁰ und die Schüler damit Aufgaben gerechnet haben. Dies ist bei der systemdynamischen Behandlung eines Themas nicht immer ohne weiteres so zu erreichen. Gerade deshalb weist diese Methode ein bemerkenswertes didaktisches Potential auf.

- So kann sie zum Beispiel einen Ausweg bieten, wenn die Physik mathematisches Handwerkszeug fordert, das die Schüler im Mathematikunterricht erst ein halbes Jahr später lernen, wie zum Beispiel bei Ableitungen und Differentialgleichungen. Eine von den Schülern durchgeführte und verstandene numerische Lösung ist um ein Vielfaches wertvoller als eine vom Lehrer vorgerechnete und nicht verstandene analytische Lösung.
- Insbesondere ist es möglich, sich nicht auf mäßig interessante und lebensweltferne Laborprobleme zu reduzieren, sondern komplexe, lebensweltnahe Fragestellungen aufzugreifen und quantitativ zu behandeln, die analytisch nicht lösbar wären oder zumindest über die den Schülern bekannten mathematischen Werkzeuge hinausgingen. Zum Beispiel kann bei der Behandlung des „freien Falls“ oder des „schiefen Wurfs“ ohne Schwierigkeit die Reibung berücksichtigt werden. Der Unterricht rückt dadurch näher an die Erfahrungs- und Lebenswelt der Schüler.
- Computergestützte numerische Verfahren spielen außerdem aus der naturwissenschaftlichen und technischen Forschung inzwischen eine sehr wichtige Rolle. Wenn sie nun auch Einzug in die Schule halten und der Unterricht damit methodisch näher an die aktuellen Forschungsmethoden rückt, ist das nur wünschenswert, da die so genannte „Wissenschaftspropädeutik“ als zentrales Ziel in den Richtlinien der gymnasialen Oberstufe verankert ist (siehe MSWWF-NRW 1999).
- Empirische Studien legen zudem die Vermutung nahe, dass die Beschäftigung mit einer graphischen Modellsprache und ihren systemdynamischen Implikationen bei den Schülern die Einsicht in systemische Zusammenhänge fördert und sie so beim Verständnis der Wechselwirkungen komplexer Systeme auch in anderen Lebensbereichen unterstützt (OSSIMITZ 2000).

¹⁰ Vor dem Hintergrund, dass physikalische Modelle im engeren Sinne gar nicht „richtig“ oder „falsch“ sein können, wie in den vorangegangenen Abschnitten dargelegt wurde, ist eine solche Unterrichtsauffassung sehr problematisch.

2.1.3 Interaktive Computersimulationen

2.1.3.1 Kriterien interaktiver Computersimulationen

a) Eingrenzung des Simulationsbegriffs

Der Begriff der Computersimulation deckt ein recht breites Spektrum von Bedeutungen ab. Allen Bedeutungsfacetten gemeinsam ist dabei, dass die Simulation einen realen, zeitabhängigen Vorgang in irgendeiner Form mit Hilfe des Computers nachstellt.

Am einen Ende des Spektrums befindet sich die Simulation als numerisch iterative Berechnung. Nach diesem Begriffsverständnis (siehe Abschnitt 2.1.2.3c) ist eine Computersimulation jede Software, die mit Hilfe von Algorithmen, die in der Regel auf Modellen der Wirklichkeit beruhen, quantitative Vorhersagen über das zukünftige Verhalten dynamischer Systeme erlaubt. Am Ende des Simulationsvorgangs stehen Zahlenwerte oder Diagramme zur Verfügung, die sich mit Messgrößen der realen Systeme vergleichen lassen, um die zugrunde liegenden Modelle und Algorithmen zu überprüfen und zu optimieren. Die Qualität einer Simulation ergibt sich aus Umfang und Präzision der Vorhersagen sowie der Geschwindigkeit ihrer Ermittlung.



Abbildung 10: Motorrad Simulator. In der realen Welt dürften diese Kinder noch nicht Motorrad fahren. Auf diesem Simulator können sie aber bereits erste Erfahrungen sammeln. Die visuelle Darstellung erfolgt perspektivisch über einen relativ kleinen Monitor, dafür sind die Bedienelemente mit denen eines realen Motorrads identisch, und auch räumliche Lageveränderungen werden berücksichtigt.

Am anderen Ende des Spektrums stehen Simulationen, die so überzeugend und realistisch wie möglich Ausschnitte der Wirklichkeit nachstellen sollen. Dem Nutzer soll der Eindruck vermittelt werden, eine Situation tatsächlich zu erleben (beispielsweise in Flugsimulatoren beim Pilotentraining). Die Fülle der Möglichkeiten reicht von einfachen animierten Grafiken auf dem Bildschirm bis zu technisch sehr aufwändigen und hochkomplexen Teilnachbauten etwa von Autos, Schiffen oder Flugzeugen, die mit realitätsnahen Rundumbildern und Klängen, originalgetreuen Steuerelementen und hydraulischer Bewegung des Nutzerstandortes eine möglichst vollständige Illusion schaffen wollen. Die Leistungsfähigkeit einer Simulation hängt dann davon ab, inwieweit die Summe der Sinneseindrücke des Nutzers mit denen der simulierten Realsituation übereinstimmt (sofern eine Gesundheitsgefährdung dabei ausgeschlossen wird). Ob die verwendeten Rechenalgorithmen mehr oder weniger nützlichen Modellen entspringen ist dabei sekundär.

b) Interaktive Computersimulation als Lernsoftwarekategorie

In diesem Abschnitt wird die interaktive Computersimulation (ICS) als Lernsoftwarekategorie eingeführt. Dabei fließen Überlegungen aus beiden dargestellten Enden des Begriffsspektrums ein, werden aber um zusätzliche Elemente erweitert. Die folgenden Kriterien dienen zur Charakterisierung des Begriffs:

- In einer Computersimulation werden reale Vorgänge in graphisch animierter Form auf dem Bildschirm dargestellt. Oft dienen dabei Schulversuche als Vorlage.
- Die Komplexität der Realität wird dabei durch eine meist schematische Darstellungsweise und das Weglassen unerwünschter Objekte oder Effekte reduziert.
- Dem Verhalten der simulierten Objekte liegen Algorithmen zugrunde, die auf Modellen der Realität beruhen, die für den Nutzer nicht einsehbar sind („Black Box“).
- In der Regel können zusätzlich weitere Elemente in die Animation eingeblendet werden, die im Realvorgang nicht sichtbar sind, sondern bereits erste Abstraktionen darstellen, etwa Vektorpfeile, Markierungen oder Beschriftungen.
- Viele Simulationen bieten zusätzlich die Möglichkeit, bestimmte Größen zeitgleich mit dem animierten Vorgang in Diagrammen gegeneinander auftragen zu lassen.
- Interaktivität kommt dadurch ins Spiel, dass der Nutzer dargestellte Abläufe beeinflussen kann, etwa durch Variation von Parametern oder Auswahl von Darstellungsoptionen.

Ansatzweise lassen sich Qualitätskriterien von den unter a) beschriebenen Softwaretypen auf diese Programme übertragen: Die quantitative Berechnung soll zumindest so genau sein, dass sie sich mit Versuchsergebnissen oder Vorhersagen aufgrund mathematischer Beschreibungen vergleichen lässt. Die graphische Ausgabe soll zumindest so detailliert sein, dass sich alle relevanten Objekte eindeutig identifizieren lassen. Das entscheidende Qualitätskriterium einer didaktisch ausgerichteten Computersimulation ist aber die Frage, inwieweit die Software den Schüler bei seinen Lernprozessen und damit bei der Erreichung der angestrebten Lernziele unterstützt.

2.1.3.2 Didaktisches Potential interaktiver Simulationen

Computersimulationen sind wohl eine der am meisten verbreiteten Einsatzmöglichkeiten des Computers im Physikunterricht. Besonders beliebt sind kleine, überschaubare und sofort intuitiv bedienbare Softwarekomponenten zu einzelnen Themen, für die sich der Name „Physlets“ eingebürgert hat. Der Name setzt sich zusammen aus „Physik“ und „Applets“, womit kleinere, meist in Java oder ActiveX[®] erstellte und in Webbrowsern ausführbare Programme gemeint sind. Bei entsprechendem Einsatz bieten Computersimulationen eine Fülle didaktischer Möglichkeiten:

- Manche Experimente lassen sich im Unterricht als Realexperiment nicht durchführen, weil sie zu teuer, zu gefährlich oder zu zeitaufwändig sind. Verglichen mit ei-

nem rein abstrakten Unterricht mit Tafel und Kreide bietet der Einsatz interaktiver Computersimulationen dann in jedem Fall einen Mehrwert.

- Unerwünschte Effekte, die im Realexperiment nur mit viel Aufwand reduziert werden können, lassen sich in der Computersimulation einfach abschalten, wie etwa Reibung oder Erschütterungen. Der gewünschte Effekt lässt sich dadurch zum Teil leichter beobachten.
- An Computersimulationen kann man Schüler jede mögliche Parameterkombination erkunden lassen, ohne dass sie sich gefährden oder teure Geräte zerstören könnten.
- Andere Simulationen zeigen Abläufe, die so gar nicht beobachtbar sind, weil sie zu klein oder zu groß sind, zu schnell oder zu langsam ablaufen. In Simulationen können prinzipiell beliebige zeitliche und räumliche Maßstäbe gewählt werden.
- Eine ganz wichtige Möglichkeit liegt in der gleichzeitigen Darstellung von Diagrammen und Vektoren. Diese Form der Multicodierung unterstützt Schüler beim Transfer zwischen verschiedenen Darstellungsformen des gleichen Sachverhalts. Insbesondere der problematische Übergang vom bewegten Versuch zu statischen Diagrammen oder Zeichnungen wird dadurch erleichtert. Besonders hilfreich ist dieses Prinzip im Zusammenspiel mit Realexperimenten oder Lebensweltsituationen, da es einen zusätzlichen Schritt auf dem Weg von der Anschauung zur Abstraktion explizit vornimmt.

Es sei aber betont, dass Computersimulationen nicht als Alternative zum Realexperiment betrachtet werden sollten, sondern immer als Ergänzung. Eine Alternative stellt die Computersimulation allenfalls zur statischen Abbildung, zum Videofilm oder zur Erklärung mit Tafel und Kreide dar. Begründung:

- Ein Realexperiment kann etwa dazu verwendet werden, ein Modell zu überprüfen, indem hypothetische Vorhersagen daraus abgeleitet und mit entsprechenden Beobachtungen am Realgegenstand verglichen werden. Weichen Vorhersage und Beobachtung voneinander ab, ist die Hypothese falsifiziert und das Modell muss verworfen oder überarbeitet werden. Diese Funktion des Realexperiments kann eine Computersimulation nicht erfüllen, da sie selbst bereits die Gültigkeit der physikalischen Modelle voraussetzt, anhand derer die Berechnungen für die dargestellten Vorgänge durchgeführt werden.
- Außerdem sind gerade Schüler in der heutigen Gesellschaft intensiv mit audiovisuellen Medien konfrontiert, in denen durch ausgefeilte Manipulations- und Tricktechnik sehr überzeugende Illusionen geschaffen werden. Aufgrund der Eindringlichkeit und Intensität der Eindrücke besteht dabei durchaus die Gefahr, dass auch physikalisch unsinnige Vorgänge, die in diesen Medien gezeigt werden, von den Schülern unreflektiert für wahr gehalten werden. Auch vor diesem Hintergrund kommt der Funktion des Physikunterrichts, die Fähigkeit zur präzisen und systematischen Beobachtung am Realgegenstand zu fördern, eine besondere Bedeutung zu.

2.2 Bestandsaufnahme

Nachdem die Lernsoftwarekategorien, um die es in dieser Arbeit geht, spezifiziert und hinsichtlich ihrer theoretischen Grundlagen und ihres didaktischen Potentials untersucht wurden, werden nun exemplarisch einige der aktuell auf dem Markt verfügbaren Softwareprodukte hinsichtlich ihrer Möglichkeiten und Grenzen analysiert, wiederum beschränkt auf graphische Modellbildungssysteme und interaktive Computersimulationen. Jeweils ein besonders verbreiteter und für die Softwarekategorie typischer Vertreter der beiden Kategorien wird dabei herausgegriffen und genauer untersucht, die restlichen werden nur kurz hinsichtlich ihres Funktionsumfangs und ihrer Zielgruppe umrissen.

2.2.1 Aktuelle graphische Modellbildungssysteme

Verglichen mit der Fülle kleinerer Applets aus der Kategorie der interaktiven Simulationen ist das Angebot an für den Physikunterricht geeigneter graphischer Modellbildungssoftware überschaubar. Die meisten davon beruhen auf Variationen der von Forrester vorgeschlagenen Flussdiagramme, lediglich Pakma® geht eigene Wege und verwendet eine zwar vergleichbare, aber doch eigenständige Symbolsprache.

2.2.1.1 Hauptvertreter: Dynasys®

a) Verbreitung und Relevanz

Das Programm, das hier als Hauptvertreter seiner Spezies herausgegriffen wird, heißt Dynasys®. Es wurde entwickelt von Walter Hupfeld, einem ehemaligen Lehrer des Beisenkamp-Gymnasiums in Hamm, Westfalen. Diese Software hat sich in mehreren deutschen Bundesländern zu einem Quasi-Standard entwickelt. Explizit wird sie etwa auf den landeseigenen Bildungsservern von Nordrhein-Westfalen, Bayern und Baden-Württemberg genannt¹¹. Aber auch viele Studienseminare, Universitäten und andere Bildungseinrichtungen, auch aus anderen europäischen Staaten¹², empfehlen die Verwendung dieses Programms. Zahlreichen Büchern und Unterrichtsmaterialien, auch speziell für den Physikunterricht, sind Modelle im Dynasys®-Format beigelegt.¹³

Wie später noch deutlich wird, ist es weniger der Funktionsumfang, der es gegenüber Konkurrenzprodukten auszeichnet. Es scheinen vielmehr insbesondere pragmatische Gründe zu sein, die das Programm so erfolgreich machen:

- Es gab von Anfang an relativ preiswerte Schullizenzen, inzwischen ist es in allen Versionen kostenlos erhältlich.

¹¹ Siehe LEARNLINE-NRW und SCHULE-BW und SCHULE-BAY

¹² Zum Beispiel: Prof. Dr. Ossimitz, Universität Klagenfurt, Lehrstuhl für Systemwissenschaften

¹³ Zum Beispiel: GOLDKUHLE 1997 und KOLLER 1995

- Außer Pakma[®] (siehe Abschnitt 2.2.1.3) handelt es sich um das einzige Produkt, das in deutscher Sprache verfügbar ist (HUPFELD WWW).
- Das Programm ist auch und gerade auf älteren Systemen lauffähig. Es benötigt keine Installation, sondern kann sofort als ausführbare Datei gestartet werden.
- Die Software ist explizit für den Einsatz in der Schule vorgesehen. Es existieren daher zahlreiche fertige Modelle und Unterrichtsvorschläge zu verschiedenen Themen verschiedener Fächer, auf die Lehrer zurückgreifen können.
- Die Software nutzt (im Vergleich zu Pakma[®]) die allgemein als Standard anerkannten Flussdiagramme nach Forrester, zu denen eine Fülle brauchbaren Informationsmaterials verfügbar ist.

b) Aufbau und Menüstruktur

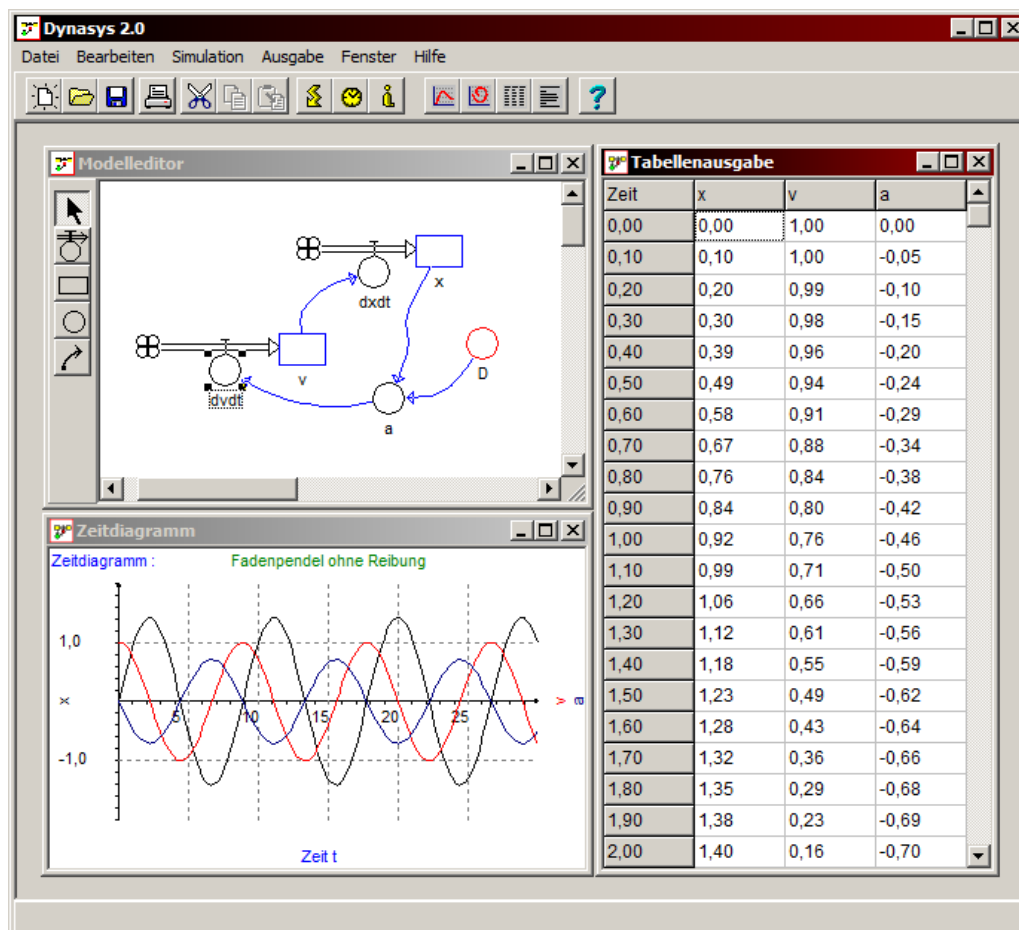


Abbildung 11: Das Hauptfenster von Dynasys 2.0. An oberen Fensterrand befinden sich die Menüleiste und darunter eine Schalterleiste. Im Formularbereich sind hier der Modelleditor (links oben) ein Diagramm (links unten) und eine Wertetabelle zu sehen, die Fensterpositionen bestimmt der Nutzer selbst. Das hier gezeigte Modell simuliert ein einfaches Federpendel ohne Dämpfung.

Dynasys[®] ist ein Programm für Microsoft[®] Windows[®] und in zwei Versionen erhältlich: Version 1.27 ist etwas älter und ausschließlich auf 16-Bit-Systemen lauffähig (als

Windows® 3.11 bis Windows® 98), die aktuelle Version 2.0 wurde für 32-Bit-Systeme (Windows® NT 4.0 bis Windows® XP) neu programmiert. Eine zukünftige Weiterentwicklung der Version 2.0 ist laut Angaben des Autors (HUPFELD WWW) von Dezember 2005 nicht geplant.

Beide Programmversionen sollen nahezu den selben Funktionsumfang und die selbe Bedienoberfläche besitzen. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf Version 2.0. Einige Details der Bedienung werden hier kurz vorgestellt:

- Nach dem Start ist das Hauptfenster der Anwendung zu sehen (siehe Abbildung 11). Am oberen Fensterrand befindet sich eine Menüleiste, darunter eine Schalterleiste, darunter der Formularbereich, in dem die eigentlich relevanten Anwendungsteile als Tochterfenster platziert werden.
- Die wichtigsten Funktionen befinden sich im Menü *Simulation*. Hier lässt sich der numerische Berechnungsvorgang *starten* - sofern bereits Ausgabefenster vorhanden sind, werden diese nach der Berechnung analysiert, ansonsten bekommt man nur eine Rückmeldung, wenn der Vorgang mit einem Fehler abgebrochen wird. Unter *Numerik* lässt sich ein Fenster (Abbildung 12) aufrufen, in welchem der Anwender ein Iterationsverfahren (Euler-Cauchy oder Runge-Kutta) auswählen sowie das verwendete Zeitintervall, Startzeit und Endzeit bestimmen kann. Nach einer Änderung muss die Berechnung erneut gestartet werden. Die Ausgabe erfolgt immer erst nach einem kompletten Durchlauf des angegebenen Zeitraums, ist also immer statisch.

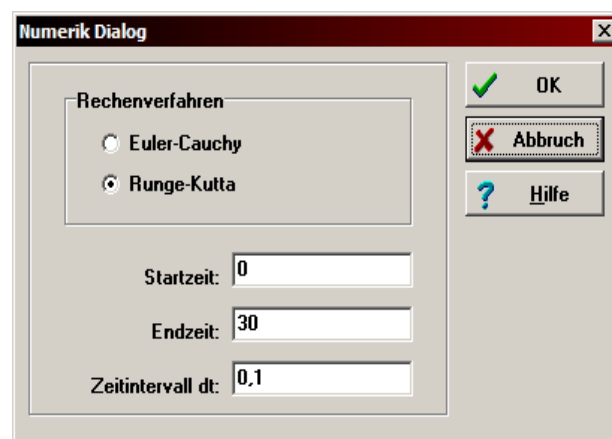


Abbildung 12: „Numerik Dialog“ aus Dynasys. Über dieses Einstellungsfenster lassen sich das Iterationsverfahren sowie Start- und Endzeit und Intervall wählen.

- Der Modelleditor (siehe Abschnitt c) ist bereits beim Programmstart als Tochterfenster vorhanden. Zur Ausgabe der Simulationsergebnisse können über den gleichnamigen Menüpunkt weitere Tochterfenster hinzugefügt werden. Zur Verfügung stehen Zeitdiagramme, Phasendiagramme (in der vorliegenden Version nicht aufrufbar), Tabellen (mit Zahlenwerten) und die aus dem Modell zur Berechnung

generierten Gleichungen. Die Ausgabemöglichkeiten werden in Abschnitt d) beschrieben.

c) Erstellen und Bearbeiten von Modellen

Der Modelleditor ist der eigentliche Kern des Programms. Hier wird das Modell als Flussdiagramm nach Forrester (siehe 2.1.2.3d) dargestellt, und es können Systemelemente hinzugefügt, gelöscht und bearbeitet werden. Alle Systemelemente werden zunächst automatisch benannt und mit einem Fragezeichen versehen, wodurch signalisiert wird, dass das Element noch nicht vollständig definiert ist, das Modell ist so nicht ausführbar. Wichtig ist zu bemerken, dass alle Größen und Änderungsraten mit eindeutigen Namen belegt werden müssen, wobei nicht zwischen Groß- und Kleinbuchstaben unterschieden wird (vergleiche hierzu Abschnitt 2.2.1.4b).

Die Vervollständigung der erforderlichen Informationen erfolgt über ein mit Doppelklick auf das entsprechende Systemelement erreichbares Fenster, das immer annähernd gleich aussieht (siehe Abbildung 13). Hier gibt es nun einige Dinge zu beachten, die ebenfalls später noch einmal aufgegriffen werden.

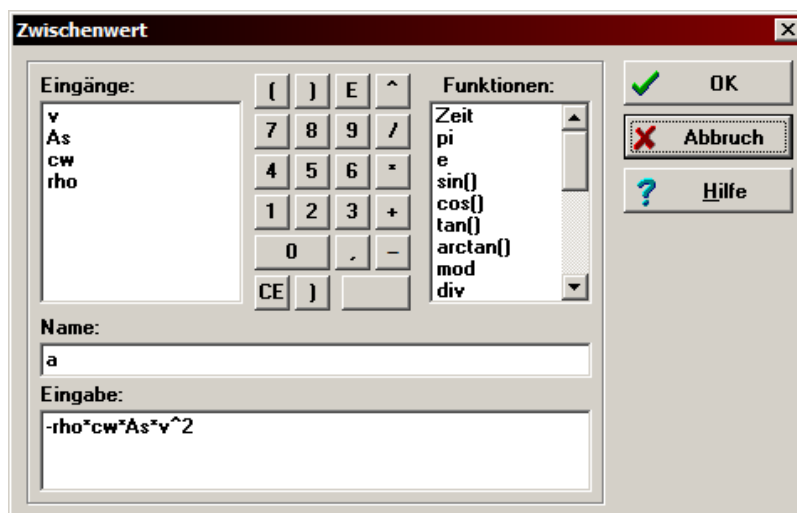


Abbildung 13: Elementeigenschaften. Unter Dynasys werden Eigenschaften von Größen und Änderungsraten über ein solches standardisiertes Fenster bearbeitet. Was unter *Eingabe* zu verstehen ist, hängt von der vorliegenden Größenart ab. Unter *Eingänge* sind die Größen angegeben, die mit Zuordnungspfeilen verbunden wurden. Sie sind, wie auch der virtuelle Tastenblock und die Funktionsliste, als Eingabehilfen zu verstehen.

- Größen, die durch Zuordnungspfeile mit der bearbeiteten Größe verknüpft wurden, werden als „Eingänge“ angezeigt, sie werden auch als Eingangsgrößen bezeichnet.
- Alle in Formeln oder als Tabelleneingang (dazu später) zu verwendenden Größen müssen vorher als Eingangsgrößen verknüpft werden. Alle verknüpften Eingangsgrößen müssen verwendet werden. Das Modell wird sonst als ungültig betrachtet.

- Die Bedeutung des Eingabefeldes hängt von der Art des Systemelementes ab: Bei Zustandsgrößen wird es als Startwert interpretiert, bei Änderungsraten als Formel. Bei den restlichen Größen ist die Anzahl der Eingangsgrößen entscheidend:
 - Liegt *keine* Eingangsgröße vor, wird die Größe zum Parameter erklärt und die Eingabe als Wert interpretiert.
 - Gibt es *mindestens eine* Eingangsgröße, wird die Größe (vorerst) als Zwischengröße aufgefasst, die Eingabe als Formel.
 - Sofern aber *genau eine* Eingangsgröße definiert ist, erscheinen zwei zusätzliche Buttons „Tabellenfunktion“ und „Tabelle laden“. Wird einer der beiden in Anspruch genommen, handelt es sich um eine Tabellengröße, die Eingabe gibt dann den Eingang an.
- Die Daten für Tabellengrößen können entweder aus einer Wertetabelle (einfache Textdatei, Werte mit Semikola getrennt) importiert oder mit dem Tabelleneditor erstellt werden. Der Tabelleneditor (Abbildung 14a) ermöglicht die Eingabe von Daten (ausschließlich) durch Klicken in das angezeigte Diagramm, die Zahlenwerte werden daneben angezeigt. Es sind immer genau 11 Werte, zwischen wählbarem Minimum und Maximum sind die Eingangswerte (auf der Ordinate aufgetragen) immer äquidistant.

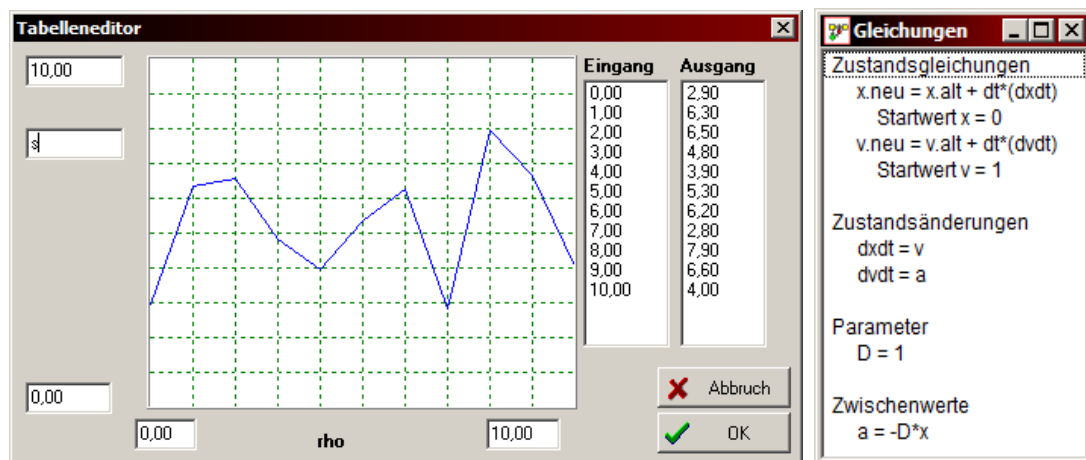


Abbildung 14: a) Tabelleneditor (links). Werte lassen sich nur durch Klicken ins Diagramm ändern und werden rechts angezeigt. Es gibt immer genau 11 Werte, die auf der Ordinate immer als äquidistant vorgegeben sind. **b) Gleichungsausgabe (rechts).** Die Informationen, die im Flussdiagramm verborgen bleiben, lassen sich in der Gleichungsansicht separat ausgeben.

- Im Flussdiagramm werden die Größen und Änderungsraten immer nur mit ihren Namen beschriftet. Die dahinter liegenden Gleichungen sind nicht zu sehen. Es können aber in einem eigenen Fenster die Rechenschritte angezeigt werden, welche die Software aus dem graphischen Modell generiert. Ein Beispiel ist in Abbildung 14b zu sehen.

d) Ausgabemöglichkeiten

Ist das Modell erstellt und ergibt keine Fehlermeldung, kann mit Erstellung der Ausgabefenster begonnen werden. Generell gilt dabei: Sämtliche Einstellungen sowie die zu verwendenden Größen werden jeweils beim Erstellen eines Ausgabefensters festgelegt und können danach nicht mehr geändert werden. Wenn eine Änderung vorzunehmen ist, muss das Fenster gelöscht und neu erstellt werden.

Es gibt im Wesentlichen zwei Möglichkeiten, wie die Ergebnisse präsentiert werden können: Wertetabellen oder Diagramme. Letztere sind in Dynasys® noch einmal untergliedert in Zeitdiagramme (eine beliebige Größe wird gegen t aufgetragen) und Phasendiagramme (zwei beliebige Größen werden gegeneinander aufgetragen), letztere waren allerdings in der vorliegenden Version 2.0 nicht verfügbar.

2.2.1.2 Weitere auf SD basierende Produkte

Alle übrigen graphischen Modellbildungssysteme sind - soweit sie auf der Systemdynamik im Sinne des Abschnitts 2.1.2.3 beruhen - nur in englischer Sprache erhältlich und kostenpflichtig. Sie sind außerdem nicht speziell für schulische Bedürfnisse konzipiert, wie im Folgenden deutlich werden soll. Die Programme werden hier nur am Rande erwähnt.

Allen Programmen gemeinsam ist einerseits die Verwendung von Flussdiagrammen im Sinne Forresters (siehe 2.1.2.3d), andererseits die Ausrichtung auf bestimmte Zielgruppen: Funktionsumfang, Darstellungsmöglichkeiten und die Wahl der Beispiele bedienen eindeutig den Bedarf von Managern, Wirtschaftsexperten und Politikern, die sich vom systemdynamischen Denkansatz ein besseres Verständnis oder bessere Voraussagemöglichkeiten komplexer ökonomischer und soziologischer Systeme versprechen.

a) Stella®

Das Programm Stella® stammt von einer Firma namens „iSee Systems®“, ehemals „High Performance Systems®“, ansässig in Lebanon, USA, die 1985 von Barry Richmond gegründet wurde. Stella® wurde 1987 herausgebracht und war das erste graphische Modellbildungssystem, das auf dem freien Markt verfügbar war. Das in der Version 8.11 vorliegende Programm besitzt eine hohe Komplexität und eine große Funktionsvielfalt. Zur Charakterisierung des Programms im Vergleich zu den anderen Produkten werden im Folgenden einige Besonderheiten herausgestellt.

- Diagramme werden nicht sofort vollständig aufgebaut, sondern im zeitlichen Verlauf, allerdings mit sehr großem und nicht benanntem Zeitmaßstab.
- Es lassen sich Bedienelemente zur Einstellung von Parametern und Startwerten einbauen, die wie analoge Schalter und Regler gestaltet sind (Abbildung 15).
- Modelle, Ausgaben und instruierende Texte lassen sich zu selbstlaufenden Lerneinheiten zusammenstellen, die der Anwender über Menüs und Hyperlinks bedient. Da-

bei ist es auch möglich, Modelle schrittweise entstehen zu lassen und dabei zusätzliche Informationen einblenden zu lassen.

- Als neues Systemelement wurde die Verzweigung eingeführt, ein auf der Spitze stehendes Quadrat, das aufgrund des Vergleichs zweier Größen einen Wert annimmt.

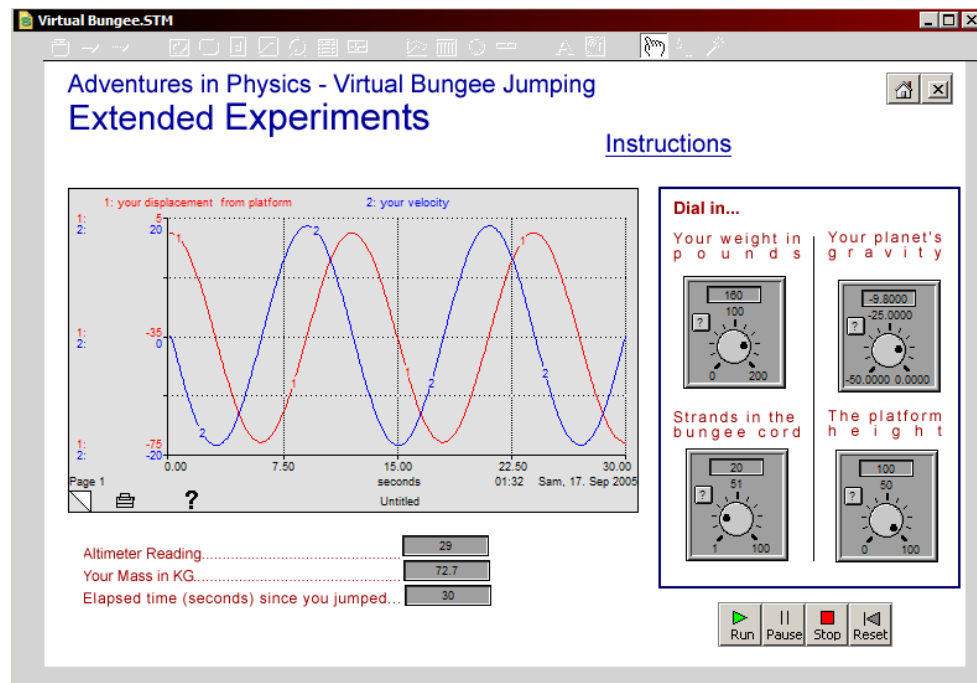


Abbildung 15: Experimentieren in Stella. Mit analog aussehenden Reglern lassen sich Startwerte und Parameter ändern, und die ausgegebenen Diagramme werden mit einem gerafften Zeitverlauf aufgebaut.

Von den Modellbildungswerkzeugen, die auf den Vorschlägen von Forrester (siehe Abschnitt 2.1.2.3) beruhen, ist Stella[®] das funktionell umfangreichste und (außer Dynasys[®]), am ehesten didaktisch ausgerichtete, benötigt aber auch eine lange Einarbeitungszeit und liegt auf gehobenem Preisniveau. Eine Schullizenz kostet 649 US\$, die preiswerteste Studentenlizenz kostet immerhin 129 US\$, Preise für Firmenversionen liegen um ein Vielfaches höher.

b) Powersim[®]

Powersim ist ein Produkt der Firma „Powersim Software AS“[®] aus Bergen in Norwegen. Hinsichtlich des Funktionsumfangs und der Bedienung des Modelleditors unterscheidet es sich kaum vom Vorbild Stella[®]. Mit dieser Software werden jedoch keine didaktischen Ziele verfolgt. Es geht vielmehr das Erstellen von konkreten Prognosen über zukünftige Marktentwicklungen und deren Präsentation vor Entscheidungsträgern aus der Wirtschaft. Entsprechend umfangreich sind daher die Möglichkeiten zur Aufbereitung der Ergebnisse mit verschiedenen Diagrammart und Textelementen (Abbildung 16).

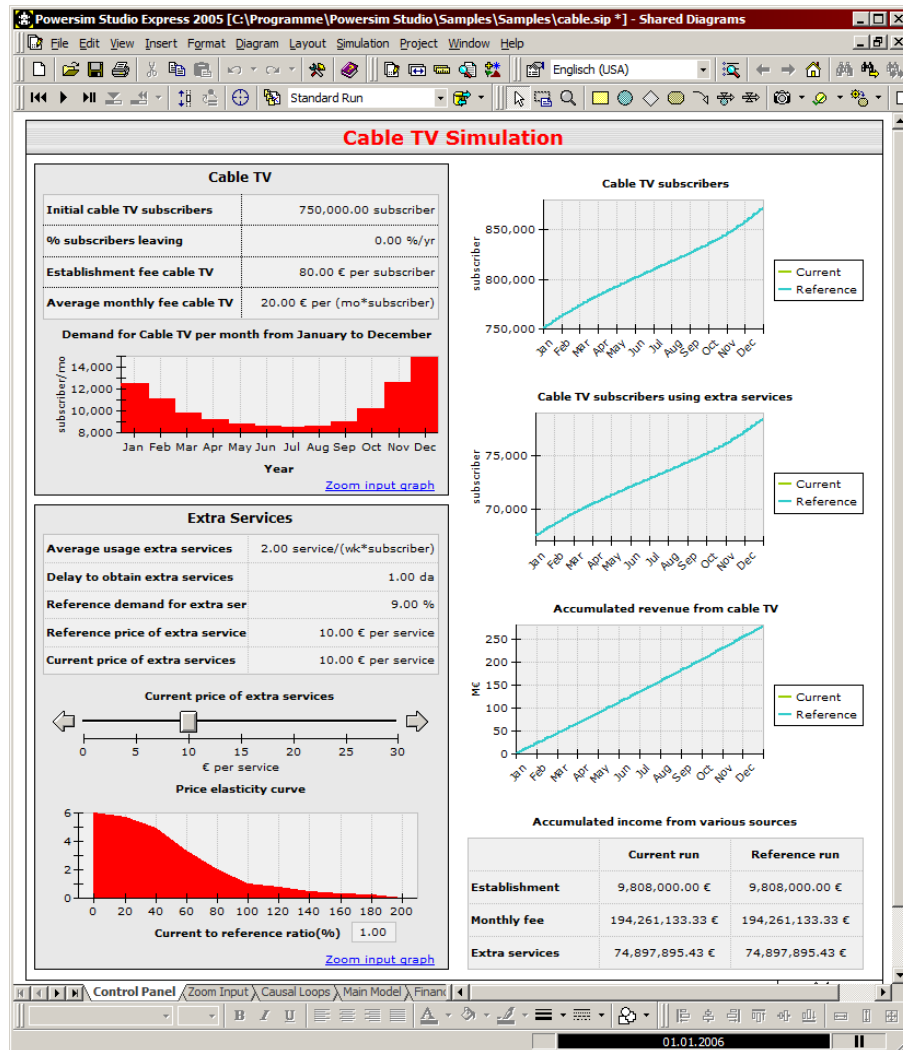


Abbildung 16: Powersim. Hier zu sehen ist der Präsentationsbildschirm eines Beispielmmodells, in dem es um eine Vorhersage der Verbreitung von Kabelanschlüssen geht.

Außerdem auffällig sind die zahlreichen Schnittstellen zu etablierten Programmen aus dem Buchhaltungs- und Rechnungswesen, wobei mit der Firma SAP® offenbar engere Kooperationen besteht. Die Preise liegen etwa in der gleichen Größenordnung wie die von Stella®.

c) Vensim®

Dieses Programm wurde von Bob Eberlein entwickelt und von „Ventana Systems, Inc.“, einer Consulting Firma aus Harvard in Massachusetts, USA, eingesetzt und vertrieben.

In dieser Software wird nur sehr wenig Wert auf aufwändige graphische Elemente gelegt. Selbst die Flussdiagramme wurden so weit vereinfacht, dass die Größen nur durch ihre Namen (ohne die graphischen Symbole) repräsentiert werden (vergleiche Abbildung 17). Zur Ausgabe stehen (ähnlich wie in Dynasys®) Wertetabellen und Diagramme zur Verfügung. Nach der Einschätzung verschiedener Autoren liegt die Stärke des

Programms insbesondere in der besonders präzisen Berechnung umfangreicher und komplexer Modelle (HUPFELD WWW).

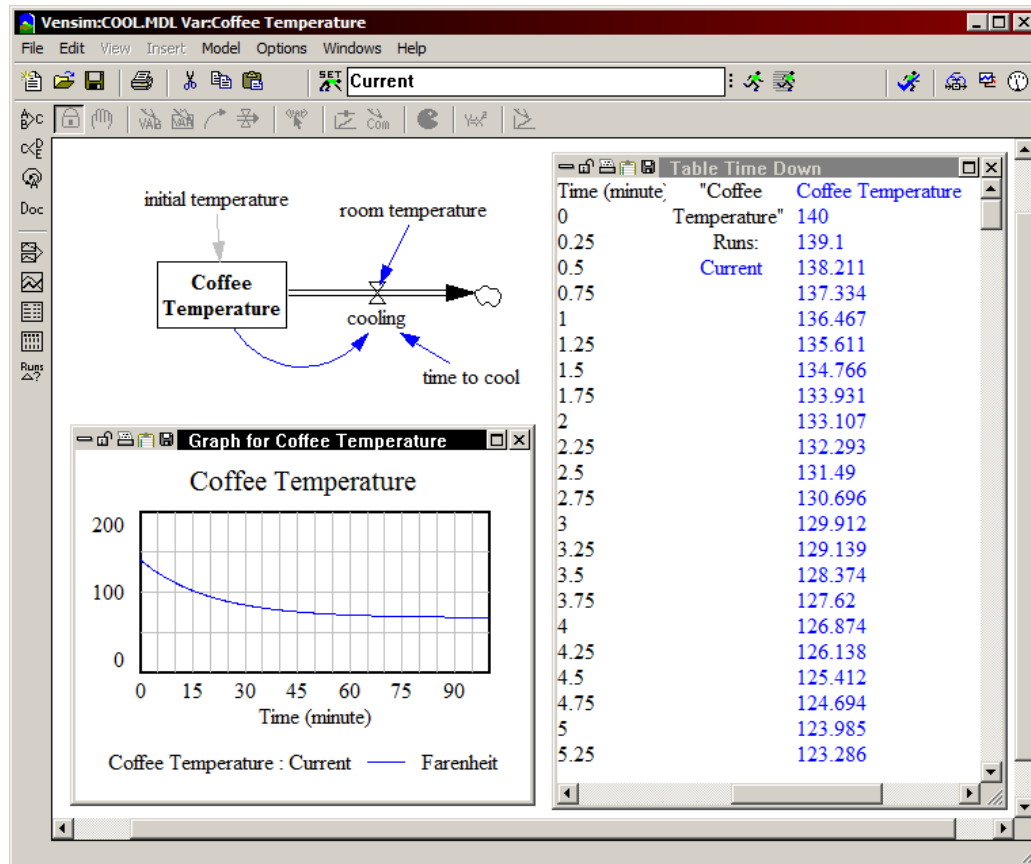


Abbildung 17: Vensim ist in jeder Hinsicht graphisch weniger aufwändig als die anderen Programme in diesem Kapitel, soll aber gerade bei komplexeren Modellen genauere Ergebnisse liefern.

Die Preise liegen insgesamt niedriger als bei den anderen beiden Produkten. Besonders interessant ist eine spezielle „Personal Learning Edition“ mit eingeschränktem Funktionsumfang, die für Bildungseinrichtungen kostenlos lizenzierbar ist.

2.2.1.3 Ein Spezialfall: Pakma® / Visedit®

Eine Sonderstellung innerhalb der verfügbaren Modellbildungssysteme kommt der Software Pakma® zu. Es wurde und wird entwickelt am Lehrstuhl für Didaktik der Physik der Universität Würzburg um Prof. Dr. Heuer und hat im Laufe seiner Geschichte einige Male seine Plattform und seine Ausrichtung gewechselt. Es ist als einziges Programm speziell für den Physikunterricht konzipiert.

In den 1980er Jahren wurde Pakma® für den Commodore C64 erstellt, später dann für den Commodore Amiga portiert, noch später dann für Microsoft® Windows® 3.11, dann für Windows® NT und 2000 und schließlich plattformübergreifend für Java. Die Versionen sind untereinander größtenteils nicht kompatibel.

Ursprünglich handelte es sich um eine Software zu Messwerterfassung und Auswertung (Pakma[®] steht für „Physik **a**ktiv **m**essen und **a**nalysieren). Später kam dann die Möglichkeit hinzu, mittels einer Script-Sprache (also textbasiert) Modelle zu erstellen, deren Ergebnisse mit den Messungen abgeglichen werden konnten.

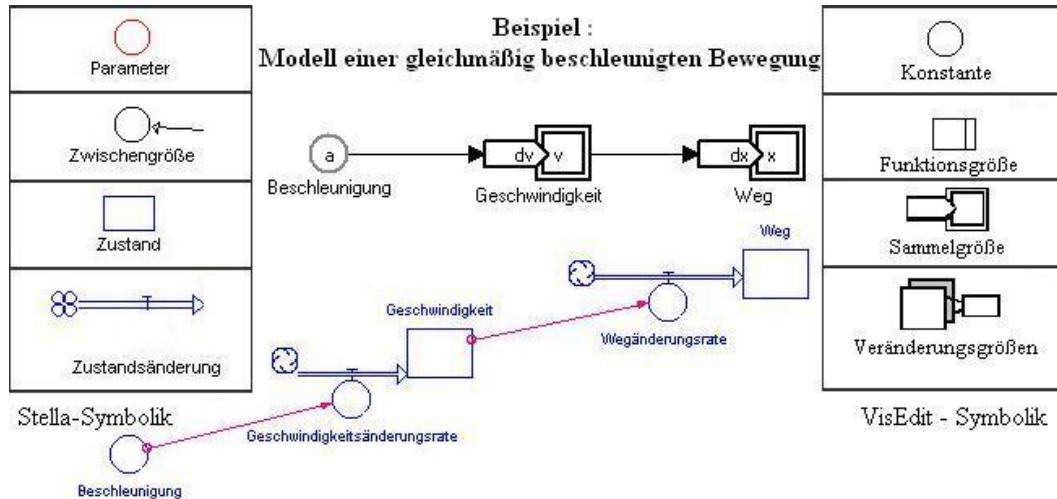


Abbildung 18: Symbole im Vergleich. Auf der linken Seite die bekannten Flussdiagramm-Elemente der Systemdynamik nach Forrester, auf der rechten die Symbole aus Pakma[®] / Visedit[®]. In der Mitte ist das Beispiel einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung in beiden Sprachen dargestellt, oben mit Pakma[®] / Visedit[®], unten mit Stella[®] (das die Symbole nach Forrester verwendet).

Zu einem graphischen Modellbildungssystem wurde die Software erst durch ein Zusatzprogramm namens Visedit[®], das quasi eine Eingabehilfe zur Erstellung der Scripte bilden sollte, aber zunehmend an Eigenständigkeit gewann. Diese Software verwendet eine eigene graphische Symbolsprache, die von der Arbeitsgruppe entwickelt wurde und die in ihrer Leistungsfähigkeit mit den Flussdiagrammen nach Forrester durchaus vergleichbar ist, aber andere Symbole verwendet (die in Abbildung 18 vergleichend dargestellt sind) und auch andere relevante Unterschiede aufweist. Einige dieser Besonderheiten der Software sollen hier herausgestellt werden.

- Eine *Sammelgröße* entspricht einer Zustandsgröße inklusive Änderungsrate. Es handelt sich also eigentlich nicht nur um eine Größe, sondern um eine Größe und ihre zeitliche Ableitung in einem Symbol. Nebenbei entfällt dabei auch die physikalisch ohnehin nicht sinnvolle Unterscheidung zwischen Zufluss und Abfluss (vergleiche Bemerkung zu den Änderungsraten in Abschnitt 2.1.2.3d).
- Die *Funktionsgröße* entspricht etwa der Zwischengröße in der Formel-Variante. Eine Tabellenfunktion fehlt.
- Stattdessen besitzt Pakma[®] aufgrund seiner Herkunft als Programm zur Messwerterfassung die Möglichkeit, speziellen Größen Ein- und Ausgänge bestimmter Mess- und Regelinterfaces zuzuweisen.
- In diesem Zusammenhang ist auch die *Veränderungsgröße* zu sehen: Sie berechnet zu gegebenen Werten die aktuelle zeitliche Änderung. Damit lässt sich etwa bei einer

Ortsmessung die Momentangeschwindigkeit bestimmen. Ohne Realmessung scheint diese Größe kaum nützlich zu sein.

- Es besteht die Möglichkeit, „*Dynamische Ikonische Repräsentationen*“ (DIR) zur Visualisierung zu verwenden. Das sind einfache Symbole wie Kreise oder Rechtecke, die kombiniert und in Abhängigkeit von festlegbaren Größen innerhalb des Systems über den Bildschirm bewegt werden. Werden Diagramme angezeigt, entstehen diese dann parallel zur Animation (siehe Abbildung 19).

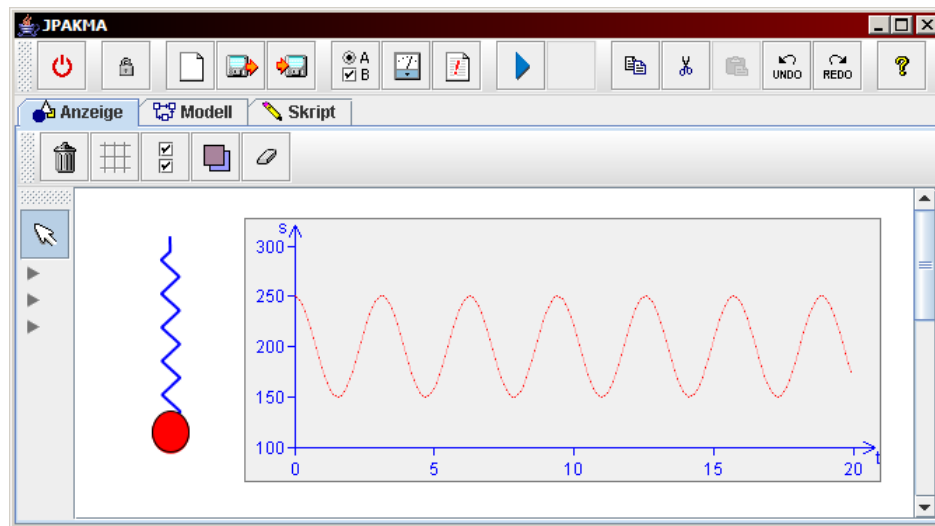


Abbildung 19: Ausgabe der Software JPakma® 1.38. Die „Dynamische Ikonische Repräsentation“ (DIR) des Federpendels auf der linken Seite ist zusammengesetzt aus einfachen Bausteinen und wird in Abhängigkeit von einem Modell eines harmonischen Oszillators zeitlich animiert. Das Diagramm auf der rechten Seite entsteht zeitgleich.

JPakma® - die Java-Version der Software - vereint als erste Version die graphischen Komponenten und die Berechnungskomponenten in einem Programm. Systembedingt (Java-Applets werden über eine „Virtual Machine“, eine Art Interpreter, ausgeführt) müssen allerdings Abstriche bei der Geschwindigkeit gemacht werden. JPakma® steht kostenlos zur Verfügung, Pakma® 2002 mit Visedit® kostet als Einzellizenz 12€

2.2.1.4 Didaktische Bewertung

Zunächst werden die vorgestellten Programme aus der Kategorie der graphischen Modellbildungssysteme daraufhin analysiert, welche didaktischen Möglichkeiten sie für das Physiklernen, insbesondere für den Unterricht bieten und an welchen Stellen konzeptionelle oder technische Eigenschaften der Software eine optimale Nutzung des theoretischen Potentials dieser Kategorie erschweren.

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die Entwickler von Pakma® einige der dargestellten Probleme der klassischen Modellbildungswerkzeuge offenbar auch gesehen haben und entsprechende Lösungsansätze in ihre Software integriert haben.

a) Realisierte Möglichkeiten

- Mit den hier vorgestellten Modellbildungssystemen lässt sich eine große Bandbreite physikalischer Lerninhalte behandeln. Praktisch jedes mit den Prinzipien des System Dynamics modellierbare System lässt sich damit realisieren. Diese Flexibilität und Offenheit eröffnet eine Reihe didaktischer Möglichkeiten:
 - Bei der Auswahl der zu modellierenden physikalischen Inhalte und Lernziele kann der Lehrer sich vollständig nach seinem geplanten Unterrichtsverlauf richten und muss nicht darauf achten, ob bereits ausgearbeitete Softwarekomponenten vorliegen.
 - Im Gegensatz zu interaktiven Simulationen können dabei auch die gewählten Größenbezeichnungen und andere Konventionen selbst gewählt und an die Unterrichtsreihe angepasst werden.
 - Der Lehrer kann jederzeit und unmittelbar auf unvorhergesehene Fragen oder Vorschläge der Schüler eingehen und unerwartete Beobachtungen sofort aufgreifen, indem diese in vorhandenen oder entstehenden Modellen berücksichtigt werden.
- Da es in der Systemdynamik - gerade bei komplexeren Problemen - in der Regel verschiedene Wege gibt, zum Ziel zu gelangen, ergeben sich sehr interessante Möglichkeiten insbesondere für Einzel- oder Gruppenarbeit.
 - So sind Arbeitsaufträge möglich, in denen der Lösungsweg tatsächlich offen gelassen wird und sich von Gruppe zu Gruppe unterscheiden kann. Dies steigert nicht nur die Motivation durch wettkampftartige Bedingungen, sondern fördert auch Kreativität, Problemlösekompetenz und eigenständiges Arbeiten.
 - Am Ende können verschiedene Modellentwürfe am Realexperiment geprüft werden und nach vorher zu vereinbarenden Qualitätskriterien bewertet werden. Dies trägt zu einem besseren Verständnis des physikalischen Modellbegriffs bei und verschafft einen Einblick in wissenschaftliche Arbeitsweisen.
- Es ist möglich, relativ komplexe physikalische Probleme mit mehr als zwei zu berücksichtigenden Variablen und deren Wechselwirkungen quantitativ zu behandeln, ohne die Ebene des mathematisch Elementaren zu verlassen.
 - Damit lassen sich interessante Probleme auch aus der realen Lebenswelt im Unterricht thematisieren, die analytisch nicht lösbar wären oder die Schüler mathematisch überfordern würden.
 - Insbesondere ist es möglich, für eine analytische Lösung erforderliche mathematische Werkzeuge zu umgehen, welche dem Kenntnisstand der Schüler curriculumsbedingt noch nicht entsprechen, etwa Differentialgleichungen, komplexe Zahlen oder Winkelfunktionen.
- Durch die standardisierten Flussdiagramme, die nicht spezifisch auf die Physik ausgerichtet sind, ergeben sich vielfältige Möglichkeiten für fächerübergreifende oder

fächerverbindende Unterrichtsreihen etwa mit der Biologie oder den Sozialwissenschaften. Auch gemeinsame Methodentage zur Einarbeitung in die neuen Werkzeuge sind denkbar.

- Durch die Multicodierung der Inhalte in Form von Gleichungen, Symbolen und Diagrammen wird der Transfer zwischen diesen Repräsentationsformen erleichtert.
- Schüler können unmittelbar die Auswirkungen beliebiger Variationen von Werten, Formeln und Wechselwirkungen am Modell beobachten und so die Bedeutung einzelner Modellelemente besser verstehen.
- Die Visualisierung der Modelle in Flussdiagrammen vermittelt wesentlich anschaulicher die Wechselwirkungen zwischen Systemelementen als die reine Notation in Form mathematischer Formeln.

b) Verbleibende Grenzen

- Die vorgestellten Modellbildungssysteme sind - außer Pakma[®] - nicht auf physikalische Probleme optimiert, sondern stammen aus den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. Daher gibt es einige Unterscheidungen, die in der Physik verzichtbar oder sogar irreführend sind - andere Möglichkeiten, die die Lösung physikalischer Probleme erleichtern würden, werden dafür nicht angeboten:
 - Die Unterscheidung zwischen Zufluss und Abfluss ist nicht nur unnötig kompliziert, sie läuft bei vektoriellen Größen sogar dem Lernziel zuwider. Es ist beispielsweise gerade nicht so, dass Beschleunigung und Verzögerung etwas prinzipiell Verschiedenes wären - sie dann im Modell unterschiedlich zu behandeln, wäre also kontraproduktiv. Pakma[®] trifft als einziges Programm diese Unterscheidung nicht mehr.
 - Änderungsraten müssen genau wie eigenständige Größen benannt werden. Das führt mit Regelmäßigkeit zu Irritationen bei den Schülern: Wenn doch Geschwindigkeit die zeitliche Änderung des Ortes ist, wieso sollte dann die Änderungsrate nicht selbst „Geschwindigkeit“ genannt werden? Wieso muss dafür eine weitere Größe eingeführt werden? Gibt es die Geschwindigkeit dann nicht irgendwie doppelt? Diesen Problemen, die bereits in der Konzeption der systemdynamischen Flussdiagramme durch Forrester angelegt sind, könnte man aus dem Weg gehen, wenn die Änderungsraten keine eigenständigen Namen hätten, sondern etwa mit ds/dt beschriftet würden. Pakma[®] löst dieses Problem durch die Integration von Änderungsrate und Zustand in einer einzigen Größe.
 - Auch sonst ist der Umgang mit vektoriellen Größen relativ aufwändig, da alle Richtungskomponenten wie unabhängige Größen ins System eingebunden werden müssen, was das Modell unnötig verkompliziert. Auch Betragsbildungen oder spezielle Vektoroperationen wie Skalarprodukt und Vektorprodukt sind nur mit zusätzlichen Größen manuell realisierbar.

- Keines der Programme kann mit Einheiten umgehen. Maximal können sie bei Ausgaben als Text angefügt werden, finden aber keine Berücksichtigung. Soll eine Umrechnung stattfinden, ist hierfür wieder eine zusätzliche Größe erforderlich.
- Es wird nicht unterschieden zwischen dem Namen der Größe und ihrem Formelzeichen, sodass man sich zwischen Klartextnamen und Abkürzungen entscheiden muss. Das wird zusätzlich dadurch erschwert, dass nicht zwischen Groß- und Kleinschreibung unterschieden wird - a und A etwa sind in der Physik aber sehr verschiedene Größen.
- Umfangreiche Modelle können schnell unübersichtlich werden. Wenn aber die Beschäftigung mit Modellbildung die Einsicht in systemische Zusammenhänge fördern soll, und den Flussdiagrammen dabei gerade die Aufgabe zukommt, komplexe Wechselwirkungen zwischen Systemelementen anschaulicher und verständlicher zu machen, kann diese Tatsache durchaus hinderlich sein. Wünschenswert wäre die Möglichkeit, das System in Untereinheiten oder Subsysteme zu gliedern, was die realen Verhältnisse durchaus sinnvoll abbilden könnte.
- Bei der Arbeit mit Schülern an dieser Software muss eine nicht unerhebliche Zeit darauf verwendet werden, konkrete Probleme zu lösen und Verständnishürden zu beseitigen, die nicht physikalisch oder systemdynamisch begründet sind, sondern durch die Software selbst verursacht werden.
 - So sind immer feste Abläufe bei der Erstellung von Systemen mit den jeweiligen Editoren einzuhalten: Größen und Änderungsraten anlegen, dann alles benennen, dann Zuordnungspfeile zeichnen, dann Formeln und Eingangsgrößen festlegen. Ein nachträgliches Zeichnen eines fehlenden Pfeils oder die Nichtverwendung eines einmal gesetzten Pfeils in einer Formel ist nicht möglich. Derartige Zwänge kosten viel Unterrichtszeit für Hilfestellungen und bedeuten für den Lehrer unnötigen Aufwand.
 - Das Eingeben von Werten aus eigenen Messreihen ist mit dem Tabelleneditor in Dynasys[®] in dieser Form kaum möglich, da die extreme Einschränkung, immer 11 äquidistante Werte eingeben zu müssen (noch dazu nur über das Verschieben von Diagrammpunkten nach Augenmaß) dieses Hilfsmittel in der Praxis fast unbrauchbar macht. Der Import von Textdateien mit Werten ist flexibler, aber auch umständlicher, zeitaufwändiger und fehleranfälliger in der Handhabung.
 - Bei Dynasys[®] besteht keine Möglichkeit, einmal erstellte Diagramme zu bearbeiten - weder die Größen zu ändern, noch die Skalierung. Jedes Mal das Diagramm löschen und neu erstellen zu müssen, ist ebenfalls umständlich und zeitaufwändig.
 - Fehlermeldungen durch die Programme bei unvollständigen oder fehlerhaften Modellen sind sehr sparsam und helfen den Schülern bei der Fehlersuche meist nur wenig weiter.

- Es werden zwar dynamische Systeme modelliert, die Ausgabe der Ergebnisse erfolgt aber völlig statisch in Form von unbewegten Diagrammen und Zahlentabellen. Das bleibt weit hinter den technischen Möglichkeiten zurück.
 - Dies ist für die Schüler relativ unbefriedigend und unansprechend, da die zeitliche Dimension, die dynamische Systeme eigentlich kennzeichnet, erst einmal verloren geht - der prinzipielle Unterschied zum gedruckten Diagramm im Buch ist nicht offensichtlich - und erst durch weitere Abstraktion zurückgewonnen werden kann.
 - Bewegte Grafiken und zeitgleich entstehende Diagramme, wie sie von interaktiven Simulationen (siehe 2.2.1.4) bekannt sind, würden auch den zeitlichen Verlauf angemessen berücksichtigen und zudem beim Transfer zwischen Realbeobachtung und Diagramm einen weiteren Zwischenschritt setzen. In neueren Versionen von Pakma[®] wurde mit der Realisierung dieser Idee begonnen.
- Der Alleingang der Pakma[®]-Entwickler hinsichtlich der Flussdiagramme bringt den gravierenden Nachteil mit sich, dass damit jede Kompatibilität und Vergleichbarkeit mit anderen, etablierten Modellbildungswerkzeugen aufgegeben wird. Ein paralleler Einsatz verschiedener Programme im Unterricht oder der Rückgriff auf vorhandene Unterrichtsmaterialien und Modelle ist damit nicht möglich. Auch die fächerübergreifende Verwendung scheidet damit aus.

2.2.2 Aktuelle Interaktive Computersimulationen

Das Angebot an interaktiven Computersimulationen für den Physikunterricht ist praktisch unüberschaubar. Die speziell hierfür ausgelegte Suchmaschine NatSimSearch¹⁴ kommt auf einen Bestand von immerhin 14000 Webseiten, die solche Programme im Angebot haben, von denen ein Großteil zur Kategorie der Physlets gehören (siehe 2.1.3.1b). In Anbetracht dieser Fülle sind allgemeine Aussagen über verfügbare Software aus diesem Bereich unter dem Vorbehalt zu bewerten, dass eine Sichtung des kompletten Programmangebots nicht möglich war und auch nicht angestrebt wurde.

Anders als bei der Vorstellung der Modellbildungssysteme wird daher zunächst mit einer allgemeinen Analyse der vorherrschenden Prinzipien bei der Themenauswahl sowie wiederkehrenden Strukturelementen bei der Gestaltung begonnen, um diese dann an einem konkreten Beispiel zu verdeutlichen.

2.2.2.1 Allgemeine Merkmale

Die meisten dieser Programme behandeln jeweils ein kleines, spezielles Problem aus der Physik und verfolgen dabei ein sehr konkretes und überschaubares Lernziel. Komplexe Probleme bilden ebenso eine Ausnahme wie die Möglichkeit überraschender und ungeplanter Ergebnisse durch flexible Eingriffsmöglichkeiten, die meisten Programme

¹⁴ NATSIM-SEARCH ist ein Projekt von Frank Schweickert, freier Dozent der Universität Amsterdam

besitzen eine übersichtliche Anzahl von variierbaren Parametern und Optionen. Sehr häufig dienen klassische Schulexperimente als Vorlage für die dargestellten Szenarien.

a) Bevorzugte Themen

Hinsichtlich der behandelten Themen fällt auf, dass es offenbar einen Kernbestand von Inhalten gibt, die gleich hundertfach als Computersimulationen vertreten sind. Zum Federpendel etwa finden sich direkt 667 Angebote, zu Wechselstromwiderständen nur 32. Folgende Kriterien scheinen die Themenauswahl maßgeblich zu beeinflussen:

- Erstens ist es eine Frage der Quantität der Nachfrage: Je elementarer ein Thema, je klassischer ein Versuch ist, desto größer ist die Zahl der Lehrenden, die das Medium potentiell gebrauchen können. Mit der gleichförmigen Bewegung sind wesentlich mehr Schüler in ihrer Laufbahn konfrontiert als mit dem Compton-Effekt.
- Es ist auch eine Frage des Entwicklungsaufwandes: Eine Simulation einer gleichförmigen Bewegung ist ohne Zweifel leichter als Programm zu realisieren als eine Simulation zur Schrödingergleichung. Da die meisten Angebote nicht kommerziell sind, werden sehr aufwändige Projekte seltener angegangen.
- Schließlich ist es natürlich eine Frage der Angemessenheit des Mediums: Bei bestimmten Themen ist es besonders nahe liegend, wie sich das Potential dieser Lernsoftwarekategorie (siehe 2.1.3.2) nutzen lässt, bei anderen erfordert es schon einen gewissen Einfallsreichtum oder ist einfach nicht möglich, aus einer Computersimulation einen didaktischen Mehrwert zu erhalten.

b) Verbreitete Gestaltungsmerkmale

Auch in der Gestaltung weisen die meisten gesichteten Anwendungen eine Reihe von Gemeinsamkeiten auf:

- Fast immer gibt es einen eingegrenzten Bereich, in dem die graphisch aufbereitete Präsentation des simulierten Phänomens, Vorgangs oder Zusammenhangs ausgegeben wird. Neben den unmittelbar sichtbaren Objekten werden hier oft bereits Abstraktionen - wie etwa Vektoren, Feldlinien oder Lichtstrahlen - eingebunden. Wir wollen diesen Teil als *Simulationsbereich* bezeichnen.
- Als weiteren wichtigen Bestandteil gibt es in aller Regel mindesten ein Diagramm, in dem eine der Messgrößen gegen die Zeit, seltener gegen eine andere Messgröße aufgetragen wird. Bei zeitlich aufgelösten, dynamischen Vorgängen entstehen diese Diagramme meist entweder bei der Simulation oder werden dynamisch mit Markierungen versehen. Diesen Bereich wollen wir *Diagrammbereich* nennen.
- Die meisten Programme ermöglichen außerdem die simulationsbegleitende Anzeige von Zahlenwerten berechneter Größen. Selten kann der Anwender auf diese Anzeige Einfluss nehmen, indem die Größe oder ihre Einheit ausgewählt wird. Dieser Bereich soll als *Wertausgabe* bezeichnet werden.

- Jede interaktive Simulation enthält darüber hinaus - definitionsgemäß - interaktive Elemente, die dem Benutzer Eingriffe ermöglichen. In der Regel bestehen diese Eingriffsmöglichkeiten im Starten, Stoppen und Zurücksetzen der Simulation und im ändern von Startparametern durch Zahleneingabe oder graphische Regler. Gelegentlich ist auch die Auswahl verschiedener Diagramme oder Versuchsvarianten oder Darstellungsoptionen möglich. Dieser Teil soll *Interaktionsbereich* heißen.

Diese Kernbereiche interaktiver Simulationen sind auf der Programmfläche nicht immer räumlich streng voneinander getrennt. Gelegentlich befinden sich Regler oder Wertanzeigen im Simulationsbereich oder statt Werteingaben „zieht“ man mit der Maus direkt an einzelnen Objekten innerhalb des Simulationsbereichs. Im Wesentlichen lässt sich diese Gliederung aber bei einem Großteil der gesichteten Software wieder finden.

Diese Überlegungen werden nun an einem konkreten Beispiel demonstriert.

2.2.2.2 Physik-Applets von Walter Fendt

Das Beispiel, das hier vorgestellt wird, ist eine Sammlung von Applets, die von Walter Fendt, einem Lehrer für Physik, Mathematik und Informatik am Paul-Klee-Gymnasium in Stadtbergen, erstellt wurde und im Internet frei verfügbar (FENDT WWW) ist. In den folgenden Abschnitten werden die Besonderheiten der Sammlung zunächst umrissen, um dann zwei konkrete Beispiele vorzustellen.

a) Besonderheiten der Softwaresammlung

Eine Besonderheit der hier vorgestellten Software ist die thematische Bandbreite, die von der Software abgedeckt wird. Während die meisten Anbieter von Physlets und ähnlichem sich auf einige ausgewählte Themen konzentrieren, deckt diese Sammlung einen großen Teil der gängigen Unterrichtsthemen aus den Fächern Physik und Mathematik ab. Jedes Applet bereitet ein spezielles, überschaubares Unterrichtsthema auf.

Die Software entspricht sehr genau dem unter 2.2.2.1b) erarbeiteten Stereotyp. Insofern eignet sie sich sehr gut zur Demonstration dessen, was hier als typische Merkmale aktueller interaktiver Computersimulationen herausgearbeitet werden soll.

Alle Applets weisen dabei einige Gemeinsamkeiten auf. Neben äußeren Ähnlichkeiten beim Design bestehen diese insbesondere in

- einer relativ klaren Trennung zwischen Simulations-, Diagramm- und Interaktionsbereich mit immer ähnlicher Anordnung,
- wiederkehrenden Bedienelementen und -konzepten zur Eingabe von Parametern, Auswahl von Optionen und zu Steuerung der Simulation,
- einer vergleichbaren, stets einfach gehaltenen graphischen Aufbereitung der Darstellungen im Simulationsbereich,
- einer starken Orientierung an der klassischen Aufbereitung der Themen in gängigen Versuchen und Unterrichtsmaterialien für die Schule, sowie

- der Einbindung der Applets in instruierende HTML-Seiten mit Informationen zur Bedienung und zum dargestellten Inhalt.

Diese Spezifika werden nun anhand eines konkreten Beispiels verdeutlicht.

b) Exemplarische Konkretisierung

Exemplarisch ist in Abbildung 20 eine Momentaufnahme der Komponenten zu sehen, die sich mit dem Gravitationsfederpendel beschäftigt. Wie man sieht, sind die unter 2.2.2.1b) aufgeführten Bereiche deutlich zu erkennen:

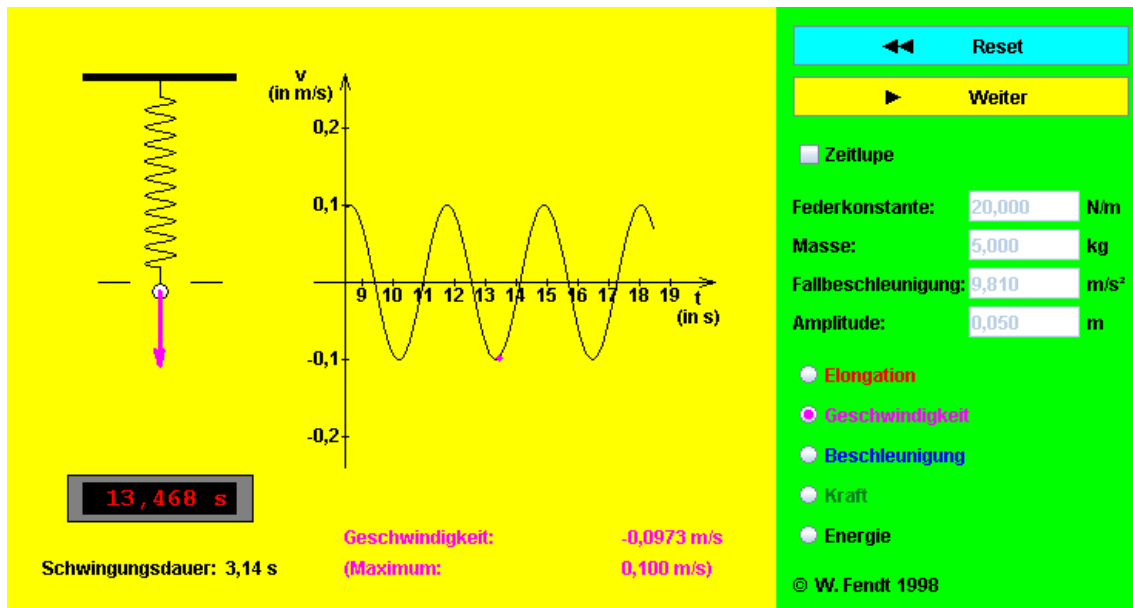


Abbildung 20: Interaktive Computersimulation zum Federpendel von Walter Fendt. Zu sehen ist links oben der Simulationsbereich, darunter einige Wertausgaben, in der Mitte der Diagrammbereich und ganz rechts der Interaktionsbereich.

- Auf der rechten Seite ist farblich abgesetzt der Interaktionsbereich zu sehen. Hier kann die Simulation gestartet und zurückgesetzt werden; als Parameter können Federkonstante, Masse, Gravitationsbeschleunigung und Amplitude eingegeben werden; als Option kann zwischen Echtzeit und Zeitlupe gewählt werden; und es kann eine von 5 Größen - Elongation, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft und Energie - ausgewählt werden.
- Links oben befindet sich der Simulationsbereich. Hier wird eine animierte, schematische Darstellung eines Federpendels gezeigt, die mit einem Vektorpfeil versehen ist, welche die im Interaktionsbereich gewählte Größe darstellt.
- Der Diagrammbereich ist in der Mitte zu finden. Hier wird die gleiche Größe, die auch schon als Vektor angezeigt wird, gegen die Zeit aufgetragen. Konkret wird hier ein bereits vorgezeichnetes Diagramm „vorbei geschoben“, wobei immer der gerade aktuelle Punkt rot markiert ist.

Unterhalb von Simulation und Diagramm werden einige Werte ausgegeben, nämlich die Zeit, sowie der Momentan- und Maximalwert der Größe, die gerade als Vektor und im Diagramm dargestellt wird.

Die Feder gehorcht ideal dem Hooke'schen Gesetz ohne Berücksichtigung der Luftreibung. Für weitere Fragestellungen, wie etwa das Hinzufügen eines Erregers oder eines weiteren, angekoppelten Oszillators gibt es jeweils weitere, eigenständige Applets.

Nicht möglich ist die gleichzeitige Darstellung mehrerer Größen im Diagramm, um zum Beispiel die Phasenverschiebung zwischen Auslenkung, Geschwindigkeit und Beschleunigung besser zu erkennen.

2.2.2.3 Didaktische Bewertung

Nun werden die gesichteten (und hier nur zusammenfassend vorgestellten) interaktiven Computersimulationen daraufhin geprüft, welche didaktischen Möglichkeiten sie bieten und welche Einschränkungen momentan noch gegeben sind.

a) *Realisierte Möglichkeiten*

- Einige hier aufzuführende Vorzüge der gesichteten interaktiven Computersimulationen beruhen auf konkreten Spezifika der Themenwahl und Gestaltung:
 - So wurde herausgestellt, dass die meisten Applets kleine, eigenständige Einheiten bilden, mit überschaubaren Inhalten und Lernzielen. Dies hat den Vorteil, dass sie sich leicht in vorhandene Unterrichtskonzepte eingliedern und auf verschiedene Weise präsentieren lassen.
 - Die überschaubare Anzahl von Variationsmöglichkeiten und die Ähnlichkeit der Bedienelemente und Darstellungen ermöglicht Lehrern und Schülern eine schnelle Orientierung und eine kurze Einarbeitungszeit.
- Ist ein Applet einem Realversuch nachempfunden, wie etwa das vorgestellte Beispiel des Federpendels, so kann es in Kombination mit demselben besonders gewinnbringend eingesetzt werden:
 - Folgt man auf dem Weg von der Realität zur Theorie der Richtung steigender Abstraktion, so stellt der Simulationsbereich der Applets einen Zwischenschritt von der Realbeobachtung zum Diagramm dar. Durch die schematische Darstellung und die Reduktion auf die relevanten Teile erleichtert er die gezielte Beobachtung, durch Vektorpfeile oder ähnliches veranschaulicht er die Bedeutung der im Diagramm dargestellten Größen.
 - Die Gleichzeitigkeit der Entstehung oder Markierung des Diagrammbereichs hilft beim Erkennen der zeitlichen Dimension der Diagramme und bei der Zuordnung von Kurvenformen zu beobachtbaren dynamischen Vorgängen. Durch die Multicodierung werden außerdem verschiedene Lernpräferenzen unterstützt.

- Die Parameter in der Simulation lassen sich genau den Parametern des realen Versuchs anpassen, so dass sich beide (im Prinzip) synchronisieren, zumindest aber Ergebnisse vergleichen lassen.
- Einflüsse, die im Realversuch die Beobachtung erschweren, etwa Reibungsverluste bei mechanischen Vorgängen oder nicht adiabatische Systeme in der Thermodynamik, können in Simulationen einfach ausgeblendet werden, um zu sehen, wie die Ergebnisse unter idealtypischen Bedingungen „theoretisch“ wären.
- In jedem Fall bildet die Computersimulation eine gute Ergänzung, möglicherweise sogar einen Ersatz für Skizzen mit Tafel und Kreide.
- Stellt ein Applet nicht direkt beobachtbare Realgegenstände, Analogien oder Abstraktionen dar, etwa Planetenbahnen, Orbitale oder Feldlinien, so ist ein kombinierter Einsatz mit Realversuchen ausgeschlossen. Es steht dann in Konkurrenz mit anderen Medien:
 - Verglichen mit Skizzen an der Tafel oder am Tageslichtschreiber ist hier wiederum - sofern vorhanden - die zeitliche Dimension besser erkennbar.
 - Im Vergleich zu Abbildungen in Büchern oder Videofilmen besteht außerdem die Möglichkeit der Variation von Parametern und Darstellungsoptionen.
- Einige Programme stellen auch Vorgänge dar, die zwar beobachtbar sind, in der Realität aber viel zu gefährlich oder im Unterricht einfach nicht durchführbar wären. Beispielsweise kann der Schüler in einer Simulation Fahrzeuge unelastisch stoßen lassen oder mit sehr großen Spannungen arbeiten und jeweils die Auswirkungen beobachten, ohne selbst dabei in Gefahr zu geraten.

b) Verbleibende Grenzen

- Durch die thematische Festlegung und die geringen Variationsmöglichkeiten ist die Einarbeitungszeit in die meisten Physlets zwar sehr gering, es sind aber auch eine Reihe von Einschränkungen in Kauf zu nehmen:
 - Die exakte Festlegung auf ein bestimmtes Thema mit einem genau definierten Lernziel birgt den Nachteil geringer Flexibilität: Unvorhergesehene Fragen oder Ideen im Unterricht können nicht (wie bei Modellbildungssystemen) durch Variationen am Modell oder der Darstellung aufgegriffen werden.
 - Entdeckendes Lernen und offene Problemstellungen werden durch dieses Konzept nicht unterstützt. Die Variationsmöglichkeiten der Parameter und Optionen sind in der Regel so eingeschränkt, dass Abweichungen vom vorgesehenen Erkenntnisweg sowie überraschende, ungeplante Ergebnisse so gut wie ausgeschlossen sind.
 - Bei der Wahl der Größenbezeichnungen, Formelzeichen und Einheiten gibt es in der Physik zum Teil verschiedene Konventionen. Die Größe B kann etwa „magnetische Flussdichte“ oder „magnetische Induktion“ genannt werden, für die Energie kann „ W “ oder „ E “ verwendet werden, und gerade amerikanische Prog-

ramme verwenden oft Einheiten außerhalb des SI-Systems. Weichen die Applet von den im Unterricht verwendeten Konventionen ab, kann das bei Schülern zu vermeidbaren Irritationen führen.

- Eine weitere, prinzipielle Einschränkung dieser Softwarekategorie liegt darin, dass dem Schüler keinerlei Einblick in die interne Funktionsweise der Software, sprich: in die verwendeten Algorithmen und physikalischen Zusammenhänge, gewährt wird.
 - Für den Schüler hat ein solches Applet den Status einer Black Box, die nur wenig mehr über die Gesetze verrät, die den Abläufen zugrunde liegen, als die Natur selbst das tut. Eine Erforschung der Software analog zur Erforschung eines Experimentes birgt aber immer die Gefahr, die prinzipiellen Unterschiede zwischen Simulation und Experiment (siehe auch Hinweise in 2.1.3.2) zu verwischen.
 - Software nach diesem Konzept kann daher auch keinerlei Überzeugungsarbeit leisten, wonach bestimmte mathematische Beschreibungen tatsächlich geeignet sind und ausreichen, ein System zu charakterisieren, denn man kann nicht erkennen, ob zum Beispiel das Federpendel wirklich (physikalisch elementar) mit $F = -D \cdot s$, oder einfach (in Kenntnis des analytischen Ergebnisses) mit $s = \sin\left(\sqrt{D/m} \cdot t\right)$ berechnet wird.

2.3 Eigene Entwicklungen

Die vergangenen Abschnitten sollten verdeutlichen, dass graphische Modellbildungssysteme und interaktive Computersimulationen ein großes didaktisches Potential besitzen, wobei sich an einigen Stellen Überschneidungen ergeben, an anderen Stellen die eine Softwarekategorie gerade dort Stärken hat, wo die andere Schwächen aufweist.

Das Projekt, welches in den folgenden Abschnitten vorgestellt wird, beruht nun auf der Idee, das didaktische Potential, die Stärken beider Programmkategorien in einer einzigen Software zu vereinen. Ein graphischer Modelleditor sollte ebenso vorhanden sein wie ein Simulationsbereich mit animierten Grafiken, parallel entstehende Diagramme und interaktive Elemente. Ein möglichst großer Teil der erkannten Schwächen der gesichteten Programme sollte dabei berücksichtigt sowie Verbesserungsmöglichkeiten erarbeitet und realisiert werden. Exemplarisch sollte die Software sich auf den Kontext Straßenverkehr und Fahrzeugtechnik beziehen.

Alle Entwicklungen wurden vom Autor dieser Arbeit eigenständig durchgeführt und sind Teil des Promotionsvorhabens. Version 1.0.5 (vorgestellt in Abschnitt 2.3.1) wurde bereits an Schulen und Polizeidienststellen in NRW verteilt sowie in einem Feldversuch im Physikunterricht eingesetzt (Kapitel 3) und evaluiert (Kapitel 4). Version 2.0.0 (vorgestellt in 2.3.2) ist das Ergebnis einer grundlegenden Überarbeitung der Software aufgrund der Erfahrungen aus dem Feldversuch. Einzelheiten zur Entstehungsgeschichte der Softwareversionen sind in Abschnitt 1.3 dargestellt.

Beide Softwareversionen wurden mit der Entwicklungsumgebung Microsoft® Visual Basic® 6.0 erstellt. Es handelt sich dabei um eine objektorientierte Programmiersprache, mit welcher sich neben direkt ausführbaren Dateien unter anderem auch ActiveX®-Komponenten erstellen lassen (siehe Abschnitt 2.3.1.1b). Mit diesem Werkzeug entwickelte Software ist auf Personal Computern mit Microsoft® Windows® aber Version 95 lauffähig, bestimmte Funktionen sind aber erst ab Version NT 4.0 verfügbar.

2.3.1 „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5

Die Version 1.0.5 der Software „*Mechanik und Verkehr*“ (im Folgenden „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5 oder kurz „MV1“ genannt) besteht aus einzelnen, relativ eigenständigen Einheiten, den „Inhaltskomponenten“. Sie können auf zwei prinzipiell verschiedenen Wegen gestartet und genutzt werden (siehe Abschnitt 2.3.1.1) und besitzen wiederkehrende Bestandteile und Bedienelemente (siehe Abschnitt 2.3.1.2).

Jede der Inhaltskomponenten behandelt einen überschaubaren physikalischen Themenbereich an einem bestimmten lebensweltlichen Gegenstand aus dem Kontext Straßenverkehr und Fahrzeugtechnik (Abschnitt 2.3.1.5). Dabei gibt es zahlreiche Möglichkeiten, die Software für verschiedene Lerngruppen oder Lernziele anzupassen und Vor-einstellungen vorzunehmen (Abschnitt 2.3.1.3).

In Abschnitt 2.3.1.4 wird dargelegt, inwieweit sich die Symbolsprache, welche zu Erstellung von Modellen verwendet wird, von der in anderen Softwareprodukten (dargestellt in Abschnitt 2.2) unterscheidet und welche erweiterten Möglichkeiten sich daraus ergeben. In Abschnitt 2.3.1.6 werden schließlich noch einmal die in der Software realisierten Möglichkeiten zusammengefasst, sowie verbleibende Grenzen und aufgetretene Probleme aufgezeigt.

2.3.1.1 Starten der Software

Die Software liegt in Form von ActiveX[®]-Komponenten vor, die sich entweder direkt nutzen oder über eine EXE-Datei aufrufen lassen. Was das informationstechnisch heißt, wird nicht näher thematisiert - hier geht es vielmehr darum, wie die Software sich aufgrund dieses Konzeptes starten und konfigurieren lässt.

a) Ausführbare Dateien

Die einfachste Möglichkeit ist die Nutzung der ausführbaren Datei `Verkehr.exe`. Diese Datei wird auch angesprochen, wenn das Programm über einen der Einträge im Startmenü aufgerufen wird. Ist der Anwender mit den dort angelegten Verknüpfungen zufrieden, braucht er sich um weitere Details nicht zu kümmern.

Es gibt also eine einzige Datei für alle Komponenten und Konfigurationen. Was und wie genau gestartet werden soll, wird über Kommandozeilenparameter festgelegt, die dem Dateinamen nachgestellt sind. Dabei gibt es folgende Möglichkeiten:

- `/Anhalteweg`
 - `/Kurvenfahrt`
 - `/Getriebe`
 - `/Stoßdämpfer`
 - `/Punktmassen`
- } startet jeweils die gleichnamige Inhaltskomponente

- /Menü besagt, dass die Menüzeile mit Dateiverwaltung, Eigenschaften und Dokumentation vorhanden sein soll. Das Weglassen dieser Option verhindert das eigenständige Manipulieren der Einstellungen durch den Lernenden.
- /KeinLogo verhindert, dass während des Startvorgangs der so genannte Splash-Screen angezeigt wird. Es handelt sich dabei um ein Logo der Software, versehen mit Informationen über die Version, die vorliegende Lizenz und den aktuellen Fortschritt beim Laden der Software.
- Ein Dateiname wird interpretiert als Konfigurationsdatei, die beim Start der Software geladen werden soll. Der Suffix des Dateinamens hängt dabei ab von der gewählten Komponente:
 - * .mva für die Komponente *Anhalteweg*
 - * .mvk für die Komponente *Kurvenfahrt*
 - * .mvg für die Komponente *Getriebe*
 - * .mvs für die Komponente *Stoßdämpfer*
 - * .mvp für die Komponente *Punktmassen*

Passt die Datei nicht zur Komponente, wird mit einer Fehlermeldung abgebrochen. Ist kein Name angegeben, wird die für die jeweilige Komponente vorgesehene Standarddatei geöffnet.

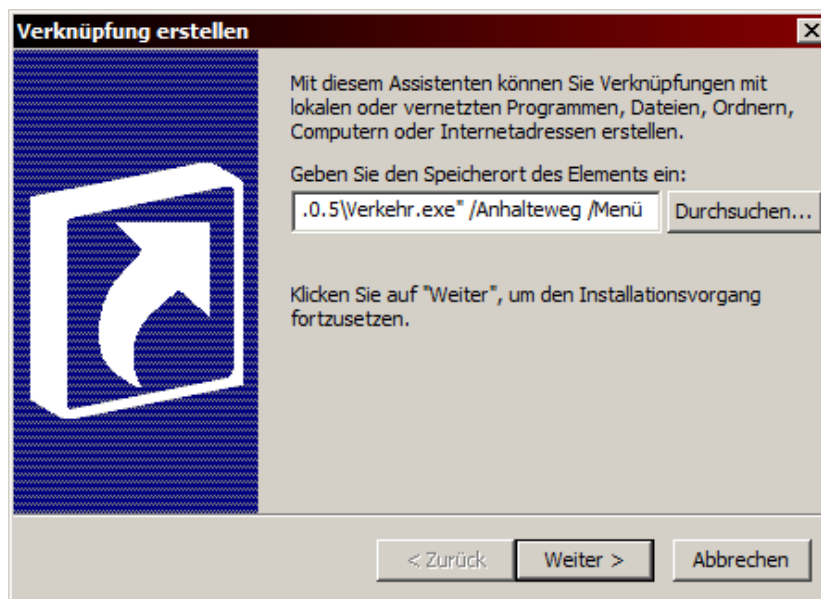


Abbildung 21: Anlegen einer Verknüpfung. Zum Starten der Software „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5 sind neben dem eigentlichen Dateinamen noch weitere Kommandozeilenparameter erforderlich.

Mit dieser Kenntnis kann der Lehrer eigene Verknüpfungen (etwa im Startmenü oder auf dem Desktop) anlegen und damit die Software für eine bestimmte Zielgruppe präparieren. Wie auch immer er dabei vorgeht, er erhält stets einen Dialog wie in Abbildung

21. Enthält der Dateiname (einschließlich Pfad) Leerzeichen, wie es beim vorgegebenen Programmverzeichnis der Fall ist, muss er in Anführungszeichen stehen.

Die Konfiguration erfolgt über den Eintrag *Eigenschaften* in der Menüleiste, wodurch ein Fenster mit „Eigenschaftenseiten“ (Property Pages) geöffnet wird, die in Abschnitt 2.3.1.3 genauer thematisiert werden.

b) ActiveX®-Komponenten

Die eigentliche Software steckt in Wirklichkeit aber nicht in der ausführbaren Datei, sondern liegt in Form von *ActiveX®-Komponenten* vor, die in der Datei *Verkehr.ocx* versteckt sind und von der EXE-Datei aufgerufen werden. Diese Komponenten lassen sich auch direkt vom Anwender ansprechen. Sie sind auf ähnliche Weise nutzbar wie Java-Applets, funktionieren aber nur unter Microsoft® Windows® und auch nur nach vorheriger Installation, haben dafür aber auch einen erweiterten Zugriff auf Systemressourcen (dazu später mehr).

ActiveX®-Komponenten lassen sich als so genannte Benutzersteuerelemente (User Controls) zum Beispiel in HTML-Seiten, Powerpoint¹⁵ Präsentationen, Word Dokumente und einige weitere Microsoft®-Formate einbinden und dort ausführen. In dem entsprechenden Dialog (in Abbildung 22 wurde Microsoft® Powerpoint® als Beispiel gewählt) sind die Komponenten durch ein vorangestelltes „Verkehr“ zu erkennen.

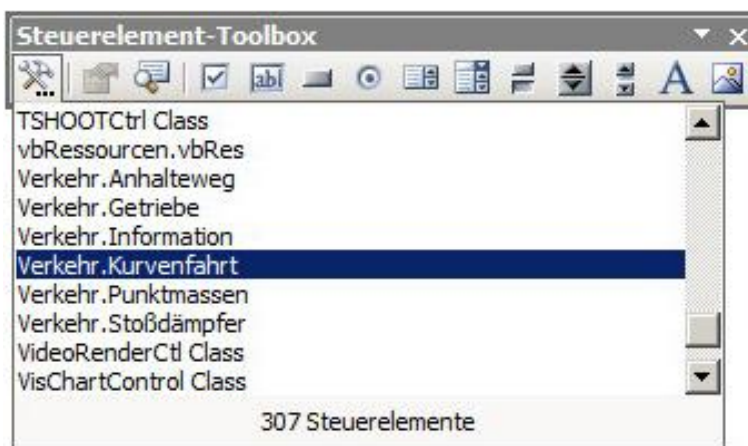


Abbildung 22: Einfügen einer ActiveX®-Komponente in Microsoft® Powerpoint®. Die Inhaltskomponenten der Software „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5 sind in der Liste aller vorhandenen Steuerelemente durch das vorangestellte Wort „Verkehr“ zu identifizieren.

Die Konfiguration erfolgt über die gleichen Eigenschaftenseiten, die auch über das Menü der ausführbaren Datei zu Verfügung stehen. Sie werden in diesem Fall erreicht, indem (zur Entwurfszeit) im Kontextmenü „Eigenschaftenseiten“ gewählt wird. Zur Laufzeit sind sie nicht zu erreichen.

Ansonsten gibt es zwischen den EXE- und den ActiveX®-Varianten der Komponenten (prinzipbedingt) keine Unterschiede.

¹⁵ Powerpoint dient zur sequentiellen Präsentation von so genannten Folien, Word ist ein Textverarbeitungsprogramm, beide stammen von der Firma Microsoft.

2.3.1.2 Aufbau und Benutzung

Alle Komponenten der Software MV1 weisen - neben spezifischen Bestandteilen und Unterschieden in Konfiguration und Anordnung - einen Kernbestand identischer Elemente auf, die in den folgenden Abschnitten vorgestellt werden.

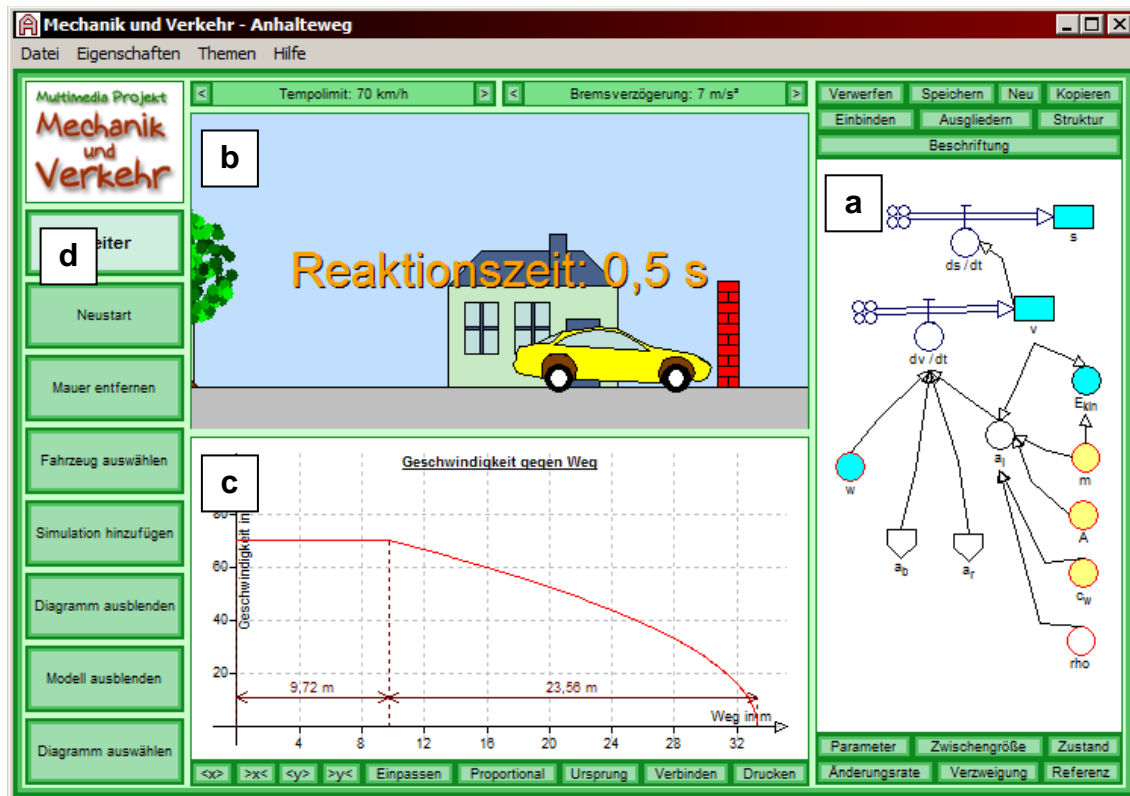


Abbildung 23: Kernbestandteile der Software „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5. Zu sehen ist rechts (a) der Modellbildungseditor, oben in der Mitte (b) der Simulationsbereich, darunter (c) der Diagrammbereich und links (d) der Interaktionsbereich. Der Screenshot stammt aus der Komponente „Anhalteweg“.

a) Graphischer Modelleditor

Dieser Bereich enthält einen vollständig ausgestatteten, graphischen Modelleditor (siehe Abbildung 24). Der mittlere Bereich enthält das eigentliche Modell in Form von Flussdiagrammen, die eine Weiterentwicklung der unter 2.1.2.3d) beschriebenen Symbolsprache darstellen. Die Spezifika dieser Flussdiagramme sind in Abschnitt 2.3.1.4 dargestellt. Hier geht es nun insbesondere um die Bedienung des Editors.

Zum besseren Verständnis wird eine Besonderheit hier aber schon vorweggenommen: In MV1 ist es möglich, ein zu modellierendes System in Subsysteme zu untergliedern. Sie bilden dann „Teilmodelle“ eines „Hauptmodells“, und die Teilmodelle können ihrerseits wieder Teilmodelle als Untermodelle besitzen.

Bedienung des Editors gestaltet sich wie folgt:

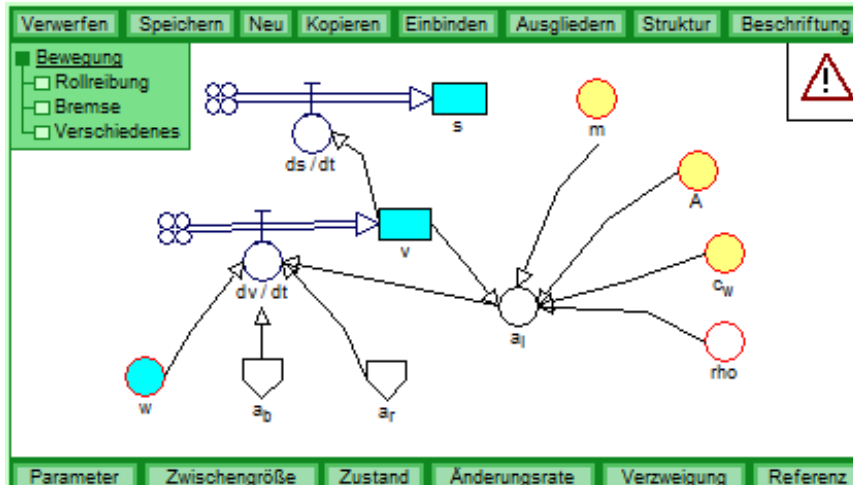


Abbildung 24: Modelleditor aus MV1. Am unteren Rand befindet sich eine Schalterleiste zum Einfügen neuer Systemobjekte. Die Leiste am oberen Rand dient zur Dateiverwaltung und zur Auswahl von Anzeigeeoptionen, links oben die Modellstruktur. In der Mitte befindet sich das eigentliche Flussdiagramm.

- Die vorhandenen Untermodelle und ihre Relation zueinander werden links oben in einer Baumstruktur dargestellt. Ein Klick auf eines der Teilmodelle bringt dieses zur Anzeige, das jeweils aktuelle Teilmodell wird in Fettschrift angezeigt.
- Im mittleren, weiß unterlegten Bereich befindet sich das eigentliche Flussdiagramm.
 - Wird die Maus über eine der Größen platziert, werden erweiterte Informationen zu dieser Größe angezeigt.
 - Durch Klicken und Ziehen mit der linken Maustaste kann die Größe verschoben werden, bei Klicken auf den Hintergrund wird das gesamte Modell verschoben.
 - Handelt es sich um eine Referenzgröße oder wird die Größe selbst referenziert, springt man durch einen einfachen Linksklick zur Bezugsgröße und wechselt dabei in das entsprechende Teilmodell.
 - Durch Klicken mit der rechten Maustaste wird ein Eingabebereich geöffnet, mit dem die Eigenschaften der Größe bearbeitet werden können (siehe weiter unten).
- Der Modelleditor besitzt außerdem je eine Schalterleiste am oberen und unteren Rand. Die obere Schalterleiste hat folgende Funktionen:
 - Wurden am Modell Änderungen vorgenommen, wird das durch ein Warnsymbol in der rechten oberen Ecke angezeigt. Diese Änderungen werden erst für den Rest der Komponente übernommen, wenn der Anwender auf Speichern klickt, ansonsten kann er die Änderungen auch Verwerfen.
 - Mit Neu wird ein neues, leeres Modell erstellt, mit Kopieren das aktuelle Teilmodell zusätzlich unter einem neuen Namen gespeichert.
 - Es lassen sich bestehende Modelle als Untermodell (des aktuellen Teilmodells) Einbinden, vorhandene Untermodelle lassen sich durch Klicken auf Aus-

gliedern wieder aus der Modellstruktur entfernen. Durch Klick auf Struktur kann die Anzeige der Baumstruktur ein- oder ausgeblendet werden.

- Mit dem Schalter Beschriftung kann aus 4 verschiedenen Möglichkeiten gewählt werden, was als Beschriftung unter den Größen im Flussdiagramm stehen soll: Der Name der Größe, das Formelzeichen, die Rechenvorschrift oder ihr Wert.
- Die untere Schalterleiste dient zum Einfügen neuer Größen in das Modell, die mit der Maus an beliebiger Stelle positioniert werden können. Wurde ein Element eingefügt, erscheint automatisch ein Eingabebereich zu Bearbeitung der Eigenschaften des Elementes. Den gleichen Eingabebereich erhält man auch, wenn zu einem späteren Zeitpunkt mit der rechten Maustaste auf die jeweilige Größe geklickt wird.

Die Eingabebereiche zur Bearbeitung der Eigenschaften der Systemelemente sind in Abbildung 25 gemeinsam abgebildet. Wie an der Schalterleiste am jeweiligen unteren Rand erkennbar ist, bieten sich dabei außer Abbrechen und Übernehmen noch weitere Möglichkeiten: Das Element lässt sich löschen, in ein anderes Teilmodell verschieben oder (sofern es sich um eine Größe handelt) in eine andere Größenart umwandeln.

Zustandsgröße	Änderungsrate	Zwischengröße	Verzweigung	Parameter	Referenz
Bezeichnung: Position	Formel: v	Bezeichnung: Energie	Bezeichnung: Effektivbeschleunigung	Bezeichnung: Masse	Bezeichnung: Rollreibungsbeschleunigung
Formelzeichen: s		Formelzeichen: E _{kin}	Formelzeichen: a _{eff}	Formelzeichen: m	Formelzeichen: a _r
Einheit: m		Einheit: J	Einheit: m / s ²	Einheit: kg	
Größentyp: Vektor		Größentyp: Skalar	Größentyp: Vektor	Größentyp: Skalar	Modelldatei: Rollreibung
SI-Faktor: 1		SI-Faktor: 1	SI-Faktor: 1	SI-Faktor: 1	Größen: Rollreibungsbeschleunigung
X: 3		Quelle: Formel	a _{ges.b} <=> a _{haft}	Wert: 1500	
Y: 5		Formel: m / 2 * v ²	Dann: a		
Z: 1,75			Sonst: a _{red}		
Abbrechen Löschen Verschieben Umwandeln Übernehmen	Abbrechen Löschen Verschieben Übernehmen	Abbrechen Löschen Verschieben Umwandeln Übernehmen	Abbrechen Löschen Verschieben Umwandeln Übernehmen	Abbrechen Löschen Verschieben Umwandeln Übernehmen	Abbrechen Löschen Verschieben Umwandeln Übernehmen

Abbildung 25: Eigenschaften von Systemelementen in MV1. Mit diesen Eingabebereichen lassen sich unter MV1 die Eigenschaften von Größen und Änderungsraten bearbeiten.

Weist ein Modell noch Fehler irgendeiner Art auf, werden diese in einem ausführlichen Fehlerbericht am unteren Rand des Modelleditors beschrieben (Abbildung 26), der durch Klicken ein- und ausgeblendet werden kann. Die betroffenen Größen werden mit einem roten Blitz markiert. Wird die Maus über ihnen platziert, wird für diese Größe zusätzlich noch eine individuelle Fehlermeldung angezeigt. Wichtig: Auch fehlerhafte Modelle können - sofern irgendwie möglich - zur Simulation verwendet werden.

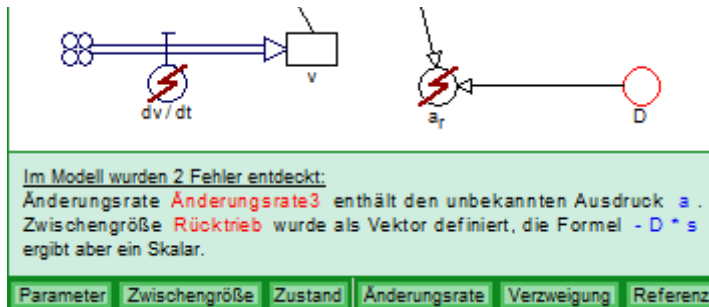


Abbildung 26: Fehlermeldung im Modelleditor vom MV1. Weist ein Modell Fehler auf, werden einerseits die betroffenen Größen mit einem roten Blitz markiert, andererseits wird am unteren Rand eine ausführliche Fehlermeldung im Klartext angezeigt.

b) Simulationsbereich

Anders als bei reinen Modellbildungssystemen besitzen die MV1-Komponenten einen Simulationsbereich (siehe Abbildung 27).

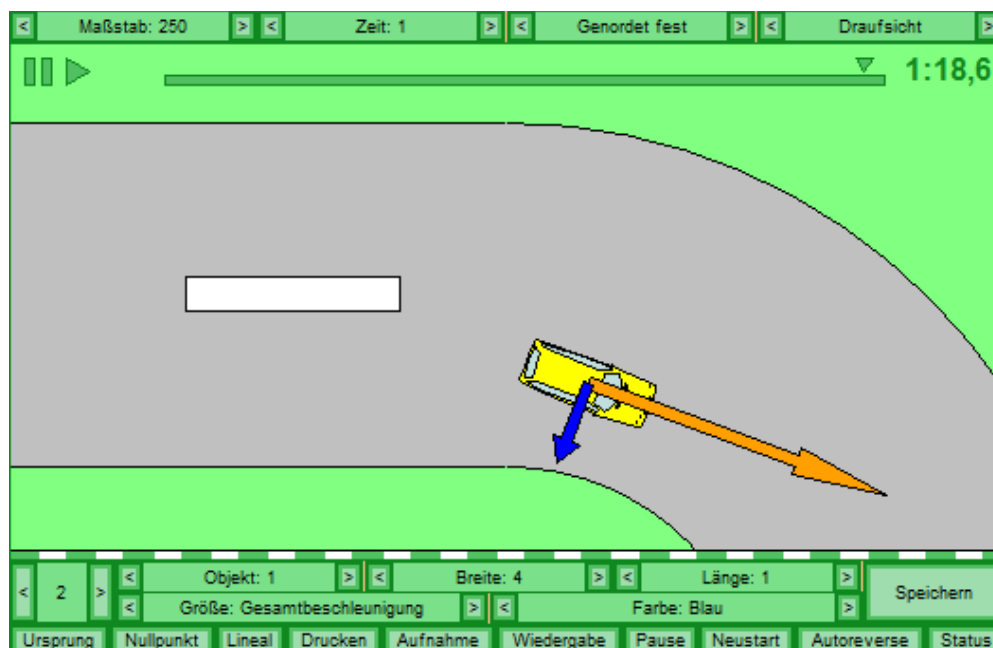


Abbildung 27: Simulationsbereich aus MV1. Die obere Leiste dient zur Einstellung von Größen- und Zeitmaßstab sowie Auswahl von Darstellungsoptionen, die Leiste ganz unten enthält unter anderem einige Schalter zur Steuerung von Aufnahme und Wiedergabe, die zweizeilige Leiste darüber ermöglicht das Erstellen und Bearbeiten von Vektorpfeilen.

Hier werden Vorgänge aus dem Kontextbereich Straßenverkehr und Fahrzeugtechnik als animierte, schematische Grafiken dargestellt. Jedem in einem solchen Szenario vor-

kommenden, beweglichen *Objekt*¹⁶ ist neben einer Zeichnung unter anderem auch ein physikalisches Modell zugeordnet, nach welchem dessen Verhalten berechnet wird. Die verwendeten Modelle können im Modelleditor - beschrieben in Abschnitt a) - dargestellt und bearbeitet werden.

Hierbei besteht die Auswahl (siehe 2.3.1.3), entweder ein festes Zeitintervall zur Berechnung anzusetzen, oder in „Echtzeit“ zu simulieren. Letzteres bedeutet, dass so viele Zeitschritte pro Sekunde durchgeführt werden, wie es die Geschwindigkeit des Rechners zulässt, wobei jeweils die von einem bis zum nächsten Schritt tatsächlich vergangene Zeit als Intervall für die Berechnung verwendet wird.

Auch hier gibt es wieder mehrere Schalter- und Auswahlleisten, mit denen der Anwender Einfluss auf Ablauf und Darstellung nehmen kann.

- In der oberen Leiste kann (von links nach rechts)
 - der Maßstab der Darstellung geändert werden,
 - ein Zeitfaktor gewählt werden (bei Echtzeitberechnung wird der Ablauf dann um diesen Faktor gerafft oder gedehnt), oder
 - durch die Wahl von Kameraführung und Perspektive die Ansicht auf das Geschehen beeinflusst werden.
- In der unteren Leiste werden folgende Möglichkeiten angeboten:
 - Der Nutzer kann den Bildausschnitt in den Koordinaten-Ursprung zurücksetzen oder ihn drucken.
 - Der Nullpunkt (des Koordinatensystems) kann markiert oder ein Lineal mit Metereinteilung am Bildrand angezeigt werden.
 - Es kann zwischen Aufnahme und Wiedergabe gewechselt oder eine Pause eingelegt werden, sowie mit Neustart die Zeit zurückgesetzt und der Autoreverse-Modus ein- und ausgeschaltet werden. Dies ist erläuterungsbedürftig: Solange sich die Simulation im Aufnahmemodus befindet, wird das Verhalten der Objekte nach den aktuellen Modellen berechnet. Die Ergebnisse dieser Berechnungen werden aber nicht nur direkt auf die Objekte angewendet, sondern auch permanent in einer sequentiellen, temporären Datei gespeichert. Wird auf den Wiedergabemodus umgeschaltet, werden die Werte für die Darstellung aus dieser Datei entnommen und nicht neu berechnet. Dies macht allerdings nur dann einen Unterschied, wenn das System nicht berechneten Einflüssen, in dieser Software also steuernden Eingriffen des Benutzers unterliegt, thematisiert in Abschnitt d). Die in der temporären Datei abgeleg-

¹⁶ Der hier verwendete Objektbegriff ist entlehnt aus der objektorientierten Programmierung. Objekte werden danach als Instanzen einer Objektklasse erzeugt und verfügen über ein Bündel allgemeiner und individueller Eigenschaften, Methoden und Ereignisse. In Version 2.0.0 wird dieses Konzept noch etwas konsequenter verfolgt als in Version 1.0.5.

ten Daten werden auch verwendet, um bei nachträglichen Änderungen in den Diagrammen (siehe Abschnitt c) auch für die zurückliegenden Werte den Graphen zu aktualisieren.

- Die darüber liegende zweizeilige Auswahlleiste dient zu Erstellung und Bearbeitung von anzuzeigenden Vektorpfeilen.
 - Ganz links ist die Nummer des aktuellen Vektors zu sehen, der gerade bearbeitet werden kann. Wird ein freier Platz gewählt (zu erkennen am Füllwort <Leer> in einigen Feldern) wird dieser Vektor bei Vervollständigung der angezeigten Felder erzeugt.
 - In der oberen Zeile kann das Objekt, auf das sich der Vektor beziehen soll, durch seine Nummer ausgewählt, sowie die Breite und der Längenmaßstab des Vektorpfeils bestimmt werden.
 - In der unteren Zeile kann die darzustellende Größe (es werden alle Größen in einer Auswahlliste angeboten, die im Modell als Vektorgrößen definiert sind) ausgewählt, sowie dem Vektor eine Farbe zugeordnet werden.
 - Der Schalter Speichern aktualisiert die Datei, in welcher die Vektorinformationen abgelegt sind.
- Im oberen Teil der eigentlichen Simulation werden einige Statusinformationen angezeigt:
 - Ganz links befindet sich eine Gruppe von Symbolen, die - analog zu Symbolen etwa auf Videorecordern - den aktuellen Aufzeichnungs- oder Wiedergabestatus anzeigt.
 - Ganz rechts wird die aktuell vergangene Simulationszeit angegeben.
 - Während der Wiedergabe wird außerdem durch einen Balken mit einer Markierung (wie in der Abbildung zu sehen) die vergangene Zeit relativ zur gesamten Aufzeichnungsdauer angegeben. Die Markierung kann durch Klicken und Ziehen mit der Maus verschoben werden, um an eine bestimmte Stelle innerhalb des simulierten Vorgangs zu springen.

c) **Diagrammbereich**

Wie von interaktiven Computersimulationen bekannt, gibt es auch einen Diagrammbereich (Abbildung 28), in dem zeitgleich mit simulierten Vorgängen Größen gegeneinander aufgetragen werden. Anders als bei interaktiven Computersimulationen üblich (siehe Abschnitt 2.2.2), kann aber jede beliebige Größe, die im Modell vorkommt, gegen jede beliebige andere Größe aufgetragen werden.

- Die Auswahl der aufzutragenden Größen erfolgt durch die 2-zeilige Auswahlleiste.
 - Ganz links erfolgt die Auswahl der Nummer der Datenreihe. Wird ein freier Platz gewählt, so wird diese Datenreihe durch Bestücken der nebenstehenden Fel-

der erzeugt. Es können (theoretisch) beliebig viele Datenreihen in einem Diagramm dargestellt werden.

- Daneben kann die Farbe des Graphen ausgewählt werden.
- Die nächsten drei Felder sind doppelt angelegt, jeweils das obere bezieht sich auf die x-, das untere auf die y-Achse: Als erste wird die Nummer des Objektes ausgewählt, dessen Daten verwendet werden sollen, danach die Größe innerhalb des jeweiligen Modells, die aufgetragen werden soll. Handelt es sich um eine vektorielle Größe, so kann im nächsten Feld zwischen x-, y- und z-Koordinate, Betrag, Richtungswinkel und Höhenwinkel gewählt werden.

Der Schalter **Speichern** schreibt die aktuelle Konfiguration in die entsprechende Datei (siehe Abschnitt 2.3.1.3a).

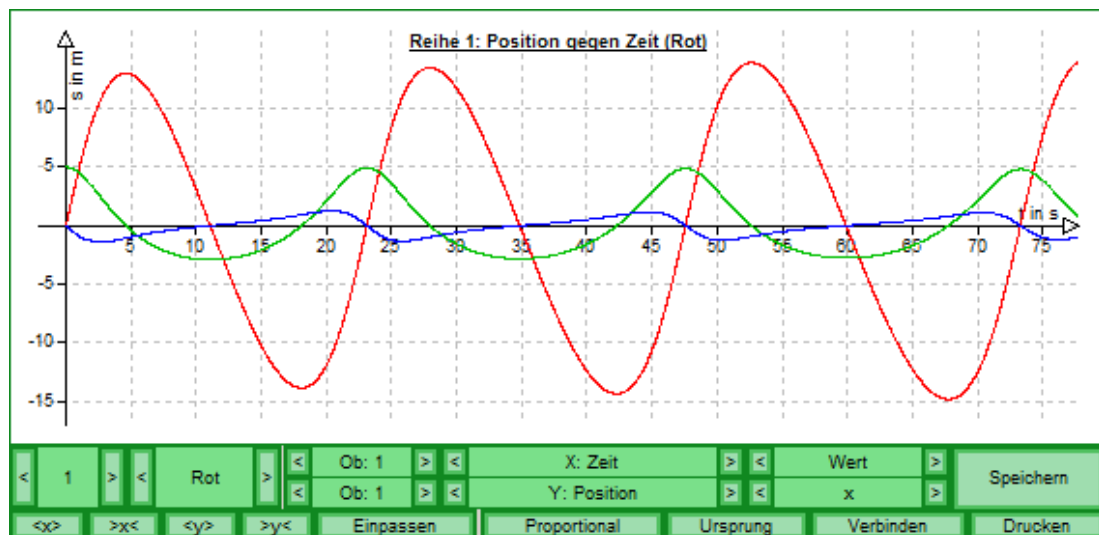


Abbildung 28: Diagrammbereich in MV1. Wertebereich und Achsen können durch Greifen in die Diagrammfläche verschoben werden, Datenreihen werden mit der zweizeiligen Auswahlleiste erstellt und geändert, zum Skalieren und Drucken steht die untere Schalterleiste zur Verfügung.

- Die Schalterleiste darunter dient zur Einflussnahme auf die Darstellung.
 - Die 4 linken Schalter verkleinern oder vergrößern jeweils den Maßstab der Achsen in x- und y-Richtung.
 - Mit **Einpassen** werden die Maßstäbe in x- und y-Richtung automatisch so gewählt, dass alle Daten aller Datenreihen im Diagramm Platz finden.
 - **Proportional** setzt für beide Richtungen den gleichen (größeren) Maßstab.
 - **Ursprung** sorgt dafür, dass sich die Achsen wieder im Koordinatenursprung schneiden und verschiebt den Wertebereich entsprechend.
 - Mit **Verbinden** kann entschieden werden, ob (in der aktuellen Datenreihe) die Punkte einzeln gesetzt oder mit Linien verbunden werden sollen.
 - Mit dem letzten Schalter kann man die aktuelle Diagrammansicht drucken.

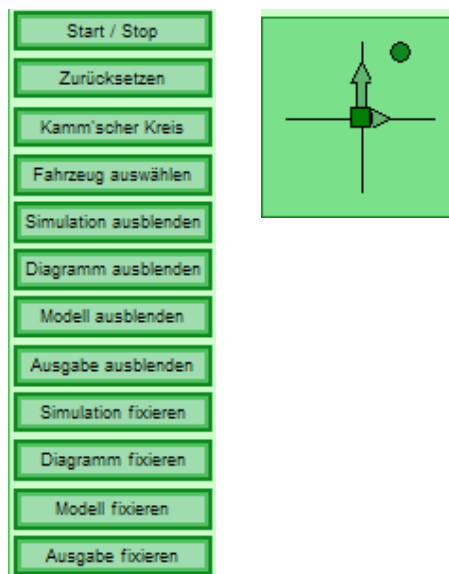
- Schließlich besteht noch die Möglichkeit, mit der Maus in das Diagramm selbst zu klicken und zu ziehen:
 - Mit der linken Maustaste wird entweder der Wertebereich oder - wenn der Zeiger auf einer der Achsen platziert wird - die Position der Koordinatenachsen innerhalb des Diagramms verschoben.
 - Mit der rechten Maustaste wird das gesamte Diagramm verschoben, also Achsen und Wertebereich gemeinsam.

Auch während einer laufenden Simulation oder nach Abschluss eines Ablaufs können jederzeit Änderungen vorgenommen werden, wobei diese auch für die zeitlich bereits zurückliegenden Werte noch wirksam und sichtbar werden.

d) **Interaktionsbereich**

Neben den vielen, bereits vorgestellten interaktiven Elementen, die den einzelnen Bereichen zugeordnet sind, gibt es auf der linken Seite zusätzlich immer noch einen eigenen Interaktionsbereich (Abbildung 29). Hier ist eine Reihe von Schaltern zu finden, von denen die oberen beiden zum Starten, Anhalten und Zurücksetzen der Simulation dienen, die restlichen in der Regel zu Auswahl von Optionen sowie zum Ein- und Ausblenden von Bestandteilen der Komponente und deren Interaktionsbereichen.

Abbildung 29: Interaktionsbereich von MV1. Neben Schaltern zur Ablaufsteuerung und zum Ein- und Ausblenden von Bestandteilen ist hier auch eine Steuerungsfläche zu sehen (in der Software unterhalb der Schalter), die bei nicht vorhandenem Joystick oder Lenkrad als Ersatz verwendet werden kann.



Unterhalb der Schalter ist in dem hier gezeigten Fall eine Fläche zu sehen, auf die mit der Maus geklickt werden kann, um ein Fahrzeug zu steuern: Nach oben heißt „Gas geben“, nach unten „Bremsen“, zur Seite „Lenken“. Die Entfernung vom Mittelpunkt des Feldes gibt dabei jeweils an, wie weit das entsprechende Pedal getreten bzw. das Lenkrad eingeschlagen wird. Wird ein Joystick oder ein Lenkrad angeschlossen, verschwindet das Symbol und das Eingabegerät wird verwendet (siehe Abschnitt 2.3.1.5bb).

Die konkret angezeigten Schalter und Steuerungselemente hängen von der jeweiligen Komponente und der aktuellen Konfiguration ab.

e) Objektverwaltung

Einige Inhaltskomponenten bieten außerdem die Möglichkeit, über eine Objektleiste (siehe Abbildung 30), die sich am oberen Rand der Komponente befindet, eigene Objekte zu erstellen oder vorhandene zu bearbeiten.

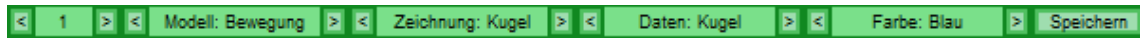


Abbildung 30: Objektleiste in MV1. Hier kann der Benutzer Objekte erzeugen sowie ihnen Modelle, Zeichnungen, Datensätze und Farben zuordnen.

Ganz links wird die Objektnummer ausgewählt, durch einen leeren Platz wird ein neues Objekt erzeugt. Jedem Objekt wird

- ein physikalisches Modell, das im Modelleditor bearbeitet werden kann,
- eine Zeichnung, durch die es in der Simulation repräsentiert wird,
- ein Datensatz, durch den einem Objekt individuelle Parameter und Startwerte zugeordnet werden können, die es von anderen Objekten mit dem gleichen Modell unterscheiden, sowie
- eine Farbe für die Zeichnung zugeordnet.

2.3.1.3 Konfiguration und Anpassung

Wie in Abschnitt 2.3.1.2 dargestellt, bietet die Software dem Nutzer ein relativ breites Angebot von Interaktionsmöglichkeiten. Dies führt zwar auf der einen Seite zu einer großen Bandbreite didaktischer Möglichkeiten (siehe hierzu 2.3.1.6), auf der anderen Seite ist diese Offenheit nicht in jedem Fall sinnvoll und erwünscht. Zur Beförderung eines bestimmten Lernziels mit einer konkreten Lerngruppe in einer vorgegebenen Lernsituation kann es durchaus erforderlich sein, die Möglichkeiten des Benutzers einzuschränken und die thematische Flexibilität zu beschränken. Es ist auch denkbar, dass ein anderes Szenario oder andere Datensätze besser geeignet wären.

Unter anderem vor diesem Hintergrund bietet die Software dem Lehrer eine Reihe von Möglichkeiten, sie für seine Zwecke anzupassen. Diese Möglichkeiten reichen von den Startoptionen beim Programmaufruf (Abschnitt 2.3.1.1) über spezielle, komfortable Eigenschaftenseiten (Abschnitt a) bis zur skriptbasierten Erstellung eigener Zeichnungen (Abschnitt c) und „Datendateien“¹⁷ (Abschnitt d). Fertige Konfigurationen können gespeichert werden (Abschnitt b) und stehen dann direkt nach dem Start dem Lernenden zur Verfügung.

¹⁷ Als „Datendateien“ werden in der Software „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5 Dateien bezeichnet, welche Datensätze für verschiedene Objekte enthalten, die dasselbe Modell verwenden. Jeder Datensatz gibt an, welchen Größen innerhalb des Modells welche Zahlenwerte zugeordnet werden sollen. Beispielsweise kann eine Datendatei für verschiedene Fahrzeuge Werte für Masse, Stirnfläche, Luftreibungsbeiwert und maximale Bremskraft enthalten.

Es sei an dieser Stelle betont, dass die Software sich auch ohne die in diesem Abschnitt beschriebenen Eingriffe sinnvoll im Unterricht oder in anderen Lernszenarien einsetzen lässt. Insbesondere die in den Abschnitten c), d) und e) dargestellten Möglichkeiten sind nur dann erforderlich, wenn die vorgegebenen Komponenten für einen gegebenen Anwendungsfall abgewandelt werden sollen, oder wenn - wie im Falle der in Abschnitt 3.3 vorgestellten Unterrichtsreihe - dem selbständigen Erstellen von Modellen und Simulationen durch die Schüler eine besondere Bedeutung zukommt.

a) **Verwendung der „Eigenschaftenseiten“¹⁸**

Die meisten und wichtigsten Einstellungen, die zur Konfiguration und Anpassung der Software erforderlich sind, stehen in Form von „Eigenschaftenseiten“ zur Verfügung. Wie diese erreicht werden hängt davon ab, auf welche Weise die Software gestartet wird (siehe hierzu Abschnitt 2.3.1.1). Die Seiten selbst sind aber immer die gleichen und werden im Folgenden kurz vorgestellt. Der Wechsel zwischen den Seiten erfolgt am schnellsten über so genannte Karteireiter¹⁹ oberhalb der Seiten.

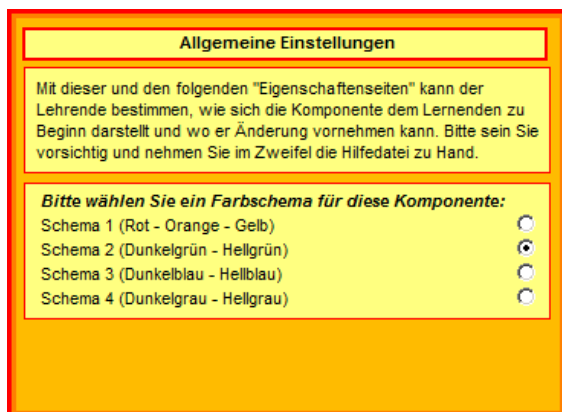


Abbildung 31: Allgemeine Einstellungen. Dies ist die Startseite der Eigenschaftenseiten. Neben einer kurzen Information gibt es hier nur die Möglichkeit, aus einem von vier Farbschemata für die Darstellung zu wählen.

Abbildung 31 zeigt die Startseite der „Eigenschaftenseiten“. Sie erscheint, wenn keine andere Auswahl getroffen wurde oder wenn sie explizit aufgerufen wird. Hier ist nur die Auswahl eines Farbschemas möglich, welches das farbliche Erscheinungsbild der Komponente bestimmt. Die Abbildungen auf dieser Seite entsprechen zum Beispiel dem Farbschema 1, die auf den vorherigen Seiten dem Farbschema 2.

Allgemein fällt auf, dass die in den „Eigenschaftenseiten“ angebotenen Optionen und Einstellungen immer mittels farblich unterschiedener Kästen in Gruppen zusammengefasst sind. Bei den in Abbildung 32 gezeigten Seiten handelt es sich um bereichsspezifische

¹⁸ „Eigenschaftenseiten“ ist eine sprachlich unschöne Übersetzung des Begriffs „Property Pages“, die sich aber in der Informatik durchgesetzt hat. Damit wird eine bestimmte Art von Dialogfenstern bezeichnet, die neben Eingabe- und Auswahlfeldern zur Konfiguration eines Programms auch erklärende Texte für den Benutzer enthalten.

¹⁹ Als „Karteireiter“ werden in der Informatik grafische Elemente bezeichnet, deren Gestaltung den Trennblättern in Karteikästen nachempfunden ist und mit denen sich zwischen verschiedenen Anzeigen (in diesem Fall Eigenschaftenseiten) umschalten lässt.

sche „Eigenschaftenseiten“, die jeweils zu einem der Hauptbereiche der Komponente (beschrieben in Abschnitt 2.3.1.2) gehören. Bei diesen folgt die Gruppierung der Optionen immer etwa der gleichen Systematik:

- Die erste Optionsgruppe bestimmt darüber, ob der Bereich dem Benutzer überhaupt zur Verfügung stehen soll. Wenn das obere Optionsfeld gewählt ist, erscheint auf jeden Fall im Interaktionsbereich (siehe 2.3.1.2d) ein Schalter zum Einblenden und Ausblenden des entsprechenden Bereichs. Wenn zusätzlich das Optionsfeld darunter („Wenn ja: Auch schon beim Start?“) gewählt ist, sieht der Benutzer den Bereich von Anfang an.
- In der zweiten Optionsgruppe wird darüber entschieden, welche Schalter in der Benutzerleiste des entsprechenden Bereichs zur Verfügung stehen, wobei nicht einzelne, sondern jeweils zusammengehörige Gruppen gewählt werden. Ist kein Schalter gewählt, entfällt die Benutzerleiste, ansonsten wird in den Interaktionsbereich ein Schalter aufgenommen zum Bearbeiten (Einblenden der Leiste) oder Fixieren (Ausblenden der Leiste). Auch hier entscheidet wieder ein Optionsfeld darüber, ob die Leiste (wenn überhaupt) bereits beim Start der Komponente zu sehen ist.

a Einstellungen für Simulation

Sollen Simulationen zu sehen sein? ☒ Erste ☒ Zweite
 Wenn ja: Auch schon beim Start? ☒ Erste ☒ Zweite

Welche Benutzerleisten sollen angezeigt werden?

Maßstab, Kamera und Perspektive	<input type="checkbox"/>	Multimedia Projekt Mechanik und Verkehr
Darstellung von Vektorpfeilen	<input type="checkbox"/>	
Nullpunkt und Lineal anzeigen, drucken	<input type="checkbox"/>	
Aufnahme und Wiedergabe von Abläufen	<input type="checkbox"/>	
Für alle: Auch schon beim Start?	<input type="checkbox"/>	

Wahl der zu verwendenden Objekte:
 Soll der Benutzer aus einer Liste von Objekten wählen können? ☒
 Soll der Benutzer Objekte ändern und erzeugen können? ☐

b Einstellungen für Modelleditor

Soll der Modelleditor zu sehen sein? ☒
 Wenn ja: Auch schon beim Start? ☐

Welche Benutzerleisten sollen angezeigt werden?

Hinzufügen neuer Modellgrößen	<input checked="" type="checkbox"/>
Ansicht und Änderung der Dateistruktur	<input checked="" type="checkbox"/>
Für beide: Auch schon beim Start?	<input checked="" type="checkbox"/>

Eingabehilfen bei der Modellierung
 Automatische Erstellung erforderlicher Größen ☒
 Automatische Erstellung und Löschung von Zuordnungen ☒

c Einstellungen für Diagramme

Sollen Diagramme zu sehen sein? ☐ Erstes ☒ Zweites
 Wenn ja: Auch schon beim Start? ☐ Erstes ☒ Zweites

Welche Benutzerleisten sollen angezeigt werden?

Skalieren, Speichern und Drucken	<input checked="" type="checkbox"/>
Aufzutragende Größen selbst bestimmen	<input type="checkbox"/>
Für beide: Auch schon beim Start?	<input checked="" type="checkbox"/>

d Einstellungen für die Zahlenwertausgabe

Soll der Ausgabeeditor zu sehen sein? ☒
 Wenn ja: Auch schon beim Start? ☒

Welche Benutzerleisten sollen angezeigt werden?

Auswahl der anzuzeigenden Größe	<input checked="" type="checkbox"/>
Wenn ja: Auch schon beim Start?	<input checked="" type="checkbox"/>

Welche Größe aus dem Modell soll ausgegeben werden?

Name der Größe im Modell:	<input type="text" value="Geschwindigkeit"/>
Auszugebender Bestandteil:	<input type="text" value="Betrag"/>
Gültige Teile: Wert, Betrag, x, y, z, Richtungswinkel, Höhenwinkel	

Abbildung 32: Vier bereichsspezifische Eigenschaftenseiten. Für die wichtigsten Bereiche - Simulationsbereich (a), Modelleditor (b) und Diagrammbereich (c) - sowie für die Zahlenwertausgabe (d) ist jeweils eine eigene Eigenschaftenseite mit speziellen Einstellungen vorhanden. Die gelben Kästen fassen jeweils mehrere Eigenschaften zu Optionsgruppen zusammen.

- In der dritten Optionsgruppe unterscheiden sich die einzelnen Bereiche:
 - Für den Simulationsbereich (Abbildung 32a) beziehen sich die Optionen auf die Objekte: Die erste Option entscheidet darüber, ob aus einer Liste vorhandener Objekte (jeweils mit Zeichnungen und Datensätzen) ein Objekt ausgewählt werden kann. Gemeint ist damit in der Regel die Fahrzeugwahl (siehe Abbildung 37 Seite 85), die Formulierung ist aber im Hinblick auf mögliche Szenarien außerhalb des Verkehrskontextes offen gehalten. Die zweite Option ermöglicht das Ein- und Ausblenden der Objektleiste (siehe 2.3.1.2e).
 - Für den Modelleditor (Abbildung 32b) können zwei Optionen gewählt werden, welche das Erstellen von Modellen erleichtern sollen: Die erste sorgt für eine automatische Erstellung erforderlicher Größen, die zweite bewirkt die automatische Erstellung und Löschung von Zuordnungen (siehe zu beiden Abschnitt 2.3.1.4).
 - Für die Ausgabe von Zahlenwerten (Abbildung 32d) kann die auszugebende Größe im Modell vorgewählt werden. Falls es sich um eine Vektorgröße handelt, muss zusätzlich der auszugebende Bestandteil bestimmt werden.

a **Namen der zu verwendenden Dateien**

Zu erzeugende Objekte und Gegenstände, physikalische Modelle und Datensätze, sowie Zeichnungen, Vektoren und Diagramme werden jeweils in separaten Dateien abgelegt.

Zu erzeugende Objekte (*.obj):	Kurvenfahrt.obj
Zu erzeugendes Szenario (*.szn):	Kurvenfahrt.szn
Physikalische Modelldatei (*.mod):	Kurvenfahrt.mod
Vorgegebene Datensätze (*.dat):	Kurvenfahrt.dat
Zeichnungsdaten für Objekte (*.drw):	Kurvenfahrt.drw
Datenreihen im Diagramm (*.ddr):	Kurvenfahrt.ddr
Darzustellende Vektoren (*.vkt):	Kurvenfahrt.vkt

b **Einstellungen für die numerische Iteration**

In dieser Software werden dynamische Prozesse durch numerische Iteration simuliert, d.h. kontinuierliche Vorgänge werden in diskrete Zeitintervalle zerteilt, wobei jeder Systemzustand aus dem vorhergehenden berechnet wird.

Bitte wählen Sie den Iterationsalgorithmus:

Euler-Cauchy-Algorithmus ☐

Runge-Kutta-Algorithmus ☒

Welche zeitliche Schrittweite soll verwendet werden?

Echtzeitsimulation mit variabler Schrittweite ☒ Intervall (s):

Festes Zeitintervall (kann von realem abweichen) ☐ 0,01

Abbildung 33: Wichtige Eigenschaften. Links (a) werden alle Dateien festgelegt, in denen für die Komponente relevante Daten abgelegt werden: Objekte und Gegenstände, Modelle und Datensätze, Zeichnungen, Datenreihen und Vektoren. Rechts (b) können einige Einstellungen zu numerischen Iteration vorgenommen werden.

Die Eigenschaftenseiten in Abbildung 33 ermöglichen einige wichtige Grundeinstellungen: Mit der in Abbildung 33a gezeigten Seite lassen sich die Namen der Dateien angeben, in welchen - neben der Konfigurationsdatei (Abschnitt b) - alle wichtigen Daten und Einstellungen für die Komponente gespeichert sind. Insgesamt gibt es 7 Dateitypen, von denen jeder eine spezifische Dateiendung (Suffix) besitzt. Zur Bearbeitung einiger Dateien stehen direkte Interaktionsmöglichkeiten in den Komponenten zur Verfügung:

- In der *Objektdatei* (*.obj) sind alle durch Modelle zu simulierenden Objekte enthalten. Sie werden über die Objektleiste (Abschnitt 2.3.1.2e) bearbeitet.
- Die *Modelldatei* (*.mod) enthält die Modelle, die im Modelleditor (Abschnitt 2.3.1.2a) angezeigt und bearbeitet werden können.

- In der *Diagrammdatei* (*.ddr) sind die in Diagrammen aufzutragenden Größen sowie ihre Skalierung und Darstellung festgelegt. Die meisten dieser Angaben werden direkt über Leisten in den Diagrammen selbst bearbeitet (Abschnitt 2.3.1.2c).
- Die *Vektordatei* (*.vkt) bestimmt, welche Größen in Simulationen als Vektorpfeile angezeigt werden und wie diese formatiert sind. Diese Einstellungen sind auch über die Auswahlleisten in den Simulationen zu erreichen (Abschnitt 2.3.1.2b).

Bei anderen Dateien ist der Anwender in dieser Version noch darauf angewiesen, entweder die Vorgaben zu akzeptieren oder die Skripte in den Dateien in einem Editor direkt zu bearbeiten.

- Die *Szenariodatei* (*.szn) enthält alle statischen Objekte, die nicht über Modelle simuliert werden, zum Beispiel Straßen, Häuser und Bäume (Abschnitt c).
- Die *Datensatzdatei* (*.dat) enthält Werte, welche den einzelnen Objekten als individuelle Parameter oder Startwerte (in Überschiebung der jeweils im Modell allgemein vorgesehenen Werte) zugewiesen werden (Abschnitt d).
- Die *Zeichnungsdatei* (*.drw) schließlich enthält die Zeichnungen, durch welche Objekte in der Simulation repräsentiert werden können (Abschnitt d).

a Spezielle Einstellungen für Komponente Anhalteweg

Ablauf und Diagramme:

Anhaltewegverlängerung ☐

Aufprallgeschwindigkeit (Mauer als Hindernis) ☒

1 Diagramm, je 1 Durchlauf ☒

2 Diagramme, 1 Durchlauf oben, 9 Durchläufe unten (mit ansteigendem Tempo) ☐

Reaktionszeit: oben: unten:

Vorgeben ☐ Ermitteln (Test) ☒ Übernehmen (von oben) ☒

Reaktionszeit in s:

Vom Benutzer änderbar? ☒

Markierung mit Fähnchen? ☐

Startwerte vorgeben: Fahrzeug oben: Fahrzeug unten:

Geschwindigkeit in km/h:

Bremsverzögerung in m/s²:

b Spezielle Einstellungen für Komponente Stoßdämpfer

Intervallerregung des Rades zur Simulation von Unebenheiten auf der Fahrbahn:

Zeitintervall zwischen zwei Maxima in s:

Amplitude einer Störung in m:

Dauer einer Störung in s:

c Spezielle Einstellungen für Komponente Getriebe

Diagramm mit Drehmomentkennlinie des Motors:

Soll das Diagramm angezeigt werden? ☒

Wenn ja: Auch schon beim Start? ☒

Diagramm zur Darstellung der Drehmoment-Drehzahl-Wandlung

Soll das Diagramm angezeigt werden? ☒

Wenn ja: Auch schon beim Start? ☒

d Spezielle Einstellungen für Komponente Kurvenfahrt

Die Haftgrenze kann als Kamm'scher Kreis dargestellt werden. Die Beschleunigung wird dann als Linearkombination ihrer Längs- und Querkomponenten angezeigt.

Soll der Kamm'sche Kreis angezeigt werden? ☒

Wenn ja: Auch schon beim Start? ☒

Welche Art von Steuerungsgerät wird verwendet? (sofern vorhanden) Joystick ☐ Lenkrad und Pedale ☒

Abbildung 34: Inhaltsspezifische Eigenschaften. Jede Inhaltskomponente (außer „Punktmassen“) besitzt auch eine eigene Eigenschaftenseite mit speziellen Einstellungen, die nur in dieser Komponente eine Entsprechung besitzen.

Mit der in Abbildung 33b dargestellten Eigenschaftenseite kann bestimmt werden, auf welche Weise die numerische Iteration (Abschnitt 2.1.2.3e) erfolgen soll.

- Einerseits besteht hierzu die Auswahl zwischen zwei Rechenverfahren, dem Euler-Cauchy-Algorithmus (Abschnitt 2.1.2.3f) und dem Runge-Kutta-Algorithmus (Abschnitt 2.1.2.3h).
- Andererseits kann die zeitliche Schrittweite bestimmt werden. Dabei besteht die Auswahl zwischen einem festen Zeitintervall und der so genannten Echtzeitsimulation, bei der das Zeitintervall von Schritt zu Schritt an die jeweils tatsächlich vergangene Zeit angepasst wird.

Die Eigenschaftenseiten in Abbildung 34 beziehen sich jeweils auf eine bestimmte Inhaltskomponente und sind auch jeweils nur in dieser verfügbar. Die Inhaltskomponenten sind in Abschnitt 2.3.1.5 ausführlich beschrieben - aufgrund dieser Ausführungen sollten die Eigenschaften selbsterklärend sein.

b) Speichern von Konfigurationen

Hat der Lehrer eine Komponente nach seinen Vorstellungen konfiguriert, ist es natürlich wichtig, dass er sie dem Schüler auch auf genau diese Weise zugänglich machen kann. Zu diesem Zweck muss er seine Änderungen speichern. Je nach Ort der Änderungen geschieht dies auf unterschiedliche Weise:

- Wurden Vektoren Pfeile in Simulationen (2.3.1.2b), Datenreihen in Diagrammen (2.3.1.2c), Modelle im Modelleditor (2.3.1.2a) oder Objekte in der Objektleiste (2.3.1.2e) bearbeitet, so werden die Änderungen jeweils mit einem Klick auf den Schalter *Speichern* im jeweiligen Bereich direkt in die zugehörige Datei geschrieben.
- Wie Änderungen an den Eigenschaftenseiten (Abschnitt a) gesichert werden, hängt von der Art und Weise der Verwendung der Komponente ab:
 - Beim Starten über die ausführbare Datei (siehe Abschnitt 2.3.1.1a) kann man über das Menü *Datei* die Konfiguration speichern. Dabei ist unbedingt zu beachten, dass davon nur die Konfigurationsdatei selbst betroffen ist, für die anderen Dateien gilt das zuvor Gesagte. Alle mit der Komponente zusammenhängenden Dateien müssen sich im gleichen Verzeichnis befinden. Wird eine Komponente unter einem neuen Pfad gespeichert, bietet das Programm daher an, die zugehörigen Dateien in dieses Verzeichnis zu kopieren.
 - Wurde die Software als ActiveX[®]-Komponente (2.3.1.1b) gestartet, werden die Eigenschaften automatisch mit dem Schließen der Seiten im so genannten *Container* gespeichert, also in der Webseite, dem Dokument oder der Präsentation, worin die Komponente eingebunden wurde.

c) *Erstellung eigener Szenarien*

Ein Szenario besteht aus unbeweglichen Gegenständen (bisher lediglich Straßen, Häuser, Bäume und Mauern), die nicht - wie die Objekte - durch physikalische Modelle simuliert werden. Dieses Szenario wird festgelegt in einer Datei mit dem Suffix *.szn. In der Version 1.0.5 gibt es keine Möglichkeit, über graphische Benutzerschnittstellen diese Szenarien direkt zu bearbeiten. Wenn es erforderlich ist, kann aber die Szenariodatei selbst in einem beliebigen Texteditor bearbeitet werden. Eine solche Datei hat folgenden Aufbau:

Leere Zeilen und solche, die mit einem Apostroph beginnen (hier können beliebige Kommentarzeilen eingefügt werden), werden ignoriert. Ansonsten enthält jede Zeile genau eine Objektdefinition, bestehend aus dem Befehl und darauf folgenden Parametern, die durch Semikola getrennt werden. Es folgt eine Liste der möglichen Befehle. Die kursiven Wörter sind Parameter und durch ihre Werte zu ersetzen. Eckige Klammern deuten an, dass der Wert optional ist, also ausgelassen werden darf.

Hintergrund [*Farbe*]

Straße *x*; *y*; *z*; *Straßentyp*; [*Farbe*]; [*Kantenlänge*];
 [*relative Fahrbahnbreite*]; [*Haftung*]

Haus *x*; *y*; *z*; [*Höhe*]; [*Breite*]; [*Farbe*₁]; [*Farbe*₂]

Baum *x*; *y*; *z*; [*Höhe*]; [*Breite*]; [*Farbe*₁]; [*Farbe*₂]

Mauer *x*; *y*; *z*; [*Höhe*]; [*Breite*]; [*Farbe*]

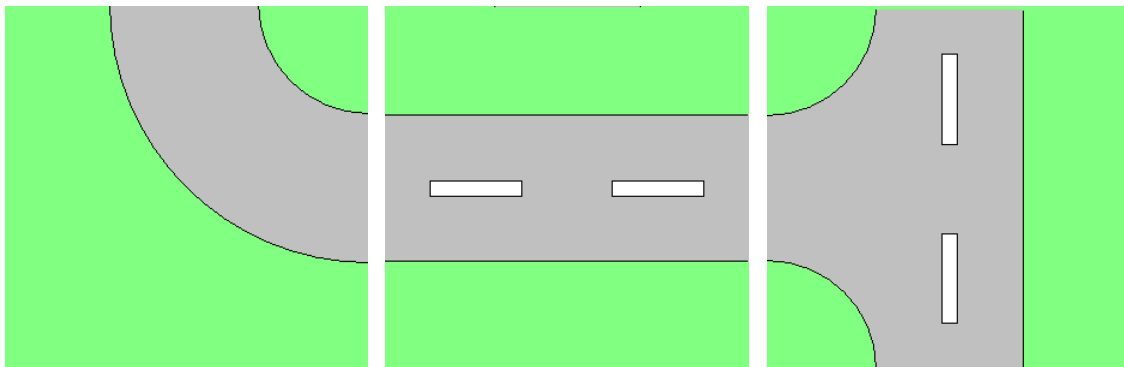


Abbildung 35: Definition von Straßenzügen in der Szenariodatei. Alle Straßenzüge werden aus solchen quadratischen Bausteinen zusammengesetzt, die aus geraden Abschnitten, Abzweigungen, Kurven und Kreuzungen bestehen.

- Straßen werden aus quadratischen Teilabschnitten zusammengesetzt (siehe Abbildung 35). Die Kantenlänge bestimmt die Größe eines solchen Quadrats, die relative Fahrbahnbreite gibt an, in welchem Verhältnis die Breite der gezeichneten Fahrbahn zur gewählten Kantenlänge steht.
- Für den Parameter *Straßentyp* ist nacheinander in Himmelsrichtungen (NSWO) anzugeben, in welche Richtungen von dieser Stelle aus die Fahrbahn weiter geht

(z.B. "NS" für eine gerade Strecke von Nord nach Süd, "NSW" für eine Abzweigung nach Westen, "NSWO" für eine Kreuzung, usw.).

- Über den Parameter `Haftung` wird die relative Reifenhaftung an diesem Straßenschnitt bestimmt. Dieser Wert wird an das Modell als exogene Größe weitergegeben und kann dort verwendet werden.
- Die `Farbe` wird als Farbbezeichnung im Klartext angegeben, wobei etwa 50 verschiedene Farbbezeichnungen erkannt werden.

d) Erstellung eigener Zeichnungen

Während die zu Verfügung stehenden Gegenstände in der Szenariodatei begrenzt sind, lassen sich den Objekten, deren Verhalten durch physikalische Modelle simuliert wird, beliebige Zeichnungen zuordnen. Eine Reihe solcher Zeichnungen stehen bereits zur Verfügung. Wenn diese in bestimmten Fällen nicht ausreichen sollten, können die Zeichnungsdateien mit dem Suffix *.drw, in welchen die Zeichnungen definiert werden, in einem beliebigen Texteditor direkt bearbeitet werden.

Die Zeichnungsdateien haben den folgenden Aufbau:

Leere Zeilen und solche, die mit einem Apostroph beginnen (hier können beliebige Kommentarzeilen eingefügt werden), werden ignoriert.

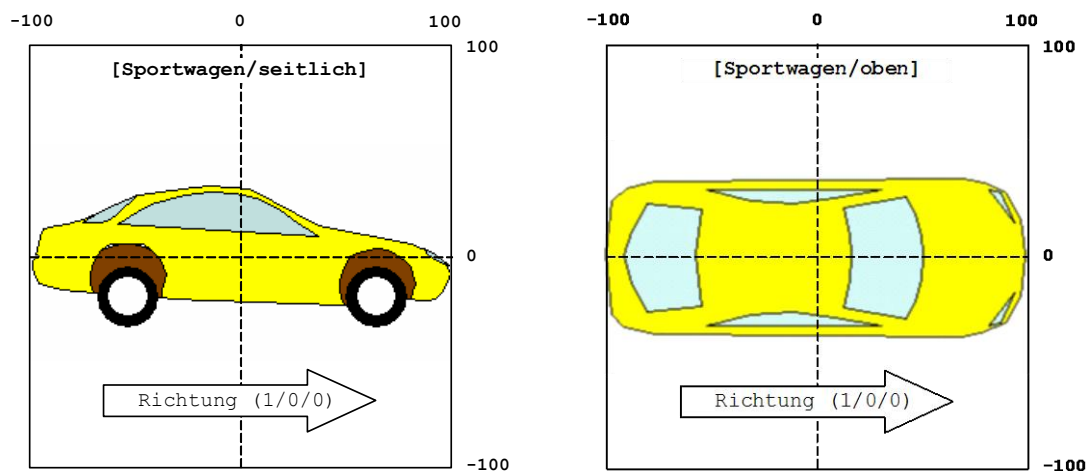


Abbildung 36: Selbst erstellte Zeichnungen müssen bestimmte Vorgaben erfüllen: Der Schwerpunkt muss im Koordinatenursprung liegen und alle Zeichnungspunkte müssen sich in x- und y-Richtung auf Werte zwischen -100 und 100 beschränken, wobei die Zeichnung die Grenzen möglichst ausnutzen sollte. Die links abgebildete Zeichnung erscheint in der Seitenansicht, die rechte in der Draufsicht.

Der Beginn einer einzelnen Zeichnung wird durch eine Überschrift in eckigen Klammern markiert. Diese Überschrift setzt sich zusammen aus dem Namen der Zeichnung, einem folgenden "/" und der Perspektive. Infrage hierfür kommen "oben" oder "seitlich" - je nachdem, ob in der Simulation „Draufsicht“ oder „Seitenansicht“ gewählt ist, wird nach dem einen oder anderen Schlüsselwort gesucht. Es ist also sinnvoll, jeweils zwei Zeichnungen zu einem Zeichnungsamen zu erstellen, eine für jede Perspektive (siehe

Abbildung 36). Nach der Überschrift folgen die Zeichenbefehle, von denen immer einer in einer Zeile steht. Die Zeilen werden nacheinander ausgeführt, jedes graphische Element überzeichnet die bereits vorhandenen.

Folgende Befehle werden erkannt:

Punkt $x; y$

Linie $x_1; y_1; x_2; y_2$

Dreieck $x_1; y_1; x_2; y_2; x_3; y_3$

Viereck $x_1; y_1; x_2; y_2; x_3; y_3; x_4; y_4$

Vieleck $x_1; y_1; \dots; x_n; y_n$

Kreis $x; y; r$

FarbeLinien *Farbe*

FarbeFüllung *Farbe*

Die kursiven Zeichen sind Parameter, die durch Zahlenwerte ersetzt werden müssen. x und y sind dabei Koordinaten. Diese müssen Werte zwischen -100 und 100 annehmen, wobei der Koordinatenursprung als Schwerpunkt des Fahrzeugs angenommen wird. r ist der Kreisradius, *Farbe* ist wieder eine Farbbezeichnung im Klartext - nicht bekannte Farbnamen werden automatisch als Weiß interpretiert.

Jedes Objekt besitzt zusätzlich zu Position und Ausdehnung auch eine Richtung. Dies ist auch beim Erstellen einer Zeichnung zu beachten. Die Zeichnungsdateien werden so interpretiert, dass das Objekt in die Richtung (1/0/0) zeigt, also in beiden Perspektiven auf dem Bildschirm nach rechts.

e) Erstellung eigener Datensätze

Die Datensatzdateien haben folgenden Hintergrund: Es kann durchaus sinnvoll sein, mehrere gleiche Objekte (also etwa mehrere Fahrzeuge) mit dem gleichen Modell zu simulieren, da sie den gleichen physikalischen Gesetzen gehorchen. Dann ist es aber erforderlich, bestimmten Größen innerhalb des Modells für die verschiedenen Objekte unterschiedliche Werte zuzuweisen, etwa verschiedene Startpositionen, Anfangsgeschwindigkeiten und Massen. Genau zu diesem Zweck dient die Datensatzdatei. Wird ein Datensatz der Datendatei auf ein Objekt angewendet, werden für dieses Objekt den entsprechenden Größen im Modell neue Werte zugeordnet, die im Modell vorhanden werden dabei (temporär) überschrieben.

Für die Datensatzdateien sind zwei Verwendungsmöglichkeiten vorgesehen:

- Sofern eine „Fahrzeugauswahl“ zur Verfügung steht (siehe Abbildung 37), wird der entsprechende Datensatz für das aktuelle Fahrzeug ausgewählt. Wichtig ist hierbei, dass für jeden Datensatz eine Zeichnung mit dem gleichen Namen vorhanden ist, da bei dieser Benutzerinteraktion immer beides dem Objekt zugeordnet wird.

- Die andere Möglichkeit ist die Verwendung der Objektleiste (siehe Abschnitt 2.3.1.2e). Hier kann einzeln jedem erzeugten oder zu bearbeitenden Objekt neben einem Modell, eine Zeichnung und einer Farbe auch ein Datensatz zugeordnet werden. Hierbei ist eine Übereinstimmung der Namen nicht erforderlich.

Die Dateien sind wie folgt aufgebaut:

Leere Zeilen oder solche die mit Apostroph anfangen, werden wieder ignoriert.

Jeder Datensatz beginnt mit einer Überschrift, bestehend aus dem Namen des Datensatzes in eckigen Klammern (etwa "[Sportwagen]"). Nur die darauf folgenden Werte werden eingelesen, und zwar bis zur nächsten Überschrift.

Fahrzeugauswahl		
	Bezeichnung:	Kombi
	Ausdehnung:	x: 4,700 m
		y: 1,780 m
		z: 1,480 m
	Masse:	1335 kg
	Stirnfläche:	2,06 m ^ 2
	Luftwiderstandsbeiwert:	0,32
	Wendekreisradius:	5,9 m
	Minimaldrehzahl:	1000 U / min
	Maximaldrehzahl:	7000 U / min
Achsübersetzung:	4,39	
Radradius:	0,35 m	

Abbildung 37: Fahrzeugauswahl aus „Kurvenfahrt“ in MV1. Aus einer Zusammenstellung verschiedener Fahrzeuge kann mittels der Schalter links unten eines ausgewählt werden. Zu jedem Fahrzeug ist eine Zeichnung für die Simulation (wird links angezeigt) sowie ein Datensatz von charakteristischen Parametern (rechte Seite) vorhanden.

Bei der Eingabe der Werte selbst sind folgende Konventionen zu beachten: In jeder Zeile steht nur eine Größe. Diese wird angegeben durch die genaue Bezeichnung im Modell, gefolgt von "=". Darauf folgt der Zahlenwert ohne Einheit (diese wird aus dem Modell entnommen). Handelt es sich um vektorielle Größen, sind die drei Komponenten (x, y, z) nacheinander durch Semikola getrennt einzugeben. Beispiel:

Ausdehnung = 4,700 ; 1,780 ; 1,480

2.3.1.4 Besonderheiten des Modelleditors

Die Software MV1 unterscheidet sich im Wesentlichen in vier Bereichen von den bereits existierenden Produkten:

- In der Kombination von graphischer Modellbildung und interaktiver Simulation,
- in der Ausrichtung auf den Kontext Straßenverkehr und Fahrzeugtechnik,
- in der Offenheit der Lernumgebung aufgrund direkter Interaktionsmöglichkeiten,

- sowie durch einen Modelleditor, der sich sowohl in der Benutzerführung als auch in der verwendeten Symbolsprache in einigen wichtigen Bereichen von anderen Programmen abhebt. Dieser Bereich ist das Thema der folgenden Abschnitte.

a) Erweiterungen der Modellsprache

Die Symbolsprache orientiert sich an den Flussdiagrammen der Systemdynamik nach Jay W. Forrester (siehe Abschnitt 2.1.2.3) in der konkreten Ausformung, die vom Modellbildungssystem Dynasys[®] verwendet wird (siehe Abschnitt 2.2.1.1). Unterschiede werden daher im Wesentlichen relativ zu diesem Programm beschrieben.

Die meisten der Änderungen dienen dem Zweck, die Symbolsprache für die Modellierung physikalischer Systeme zu optimieren. Die wichtigsten Unterschiede und daraus resultierende Möglichkeiten und didaktische Vorteile werden im Folgenden dargelegt.

aa) Vektoren und Skalare

Es wird unterschieden zwischen *skalaren* und *vektoriellen* Größen²⁰, wobei vektorielle Größen drei Dimensionen besitzen. Bei der Verwendung in Formeln wird diese Unterscheidung stets korrekt beachtet und durch eine Reihe von Operationen und Schreibweisen unterstützt (siehe hierzu Abschnitt b).

Als vektoriell definierte Größen werden direkt im Simulationsbereich in einer Auswahlliste als mögliche Vektorpfeile angeboten (siehe Abschnitt 2.3.1.2b) und können beliebig skaliert werden. Es gibt außerdem einige *erforderliche Größen* (Abschnitt ah), die vektoriell sein müssen. Bei der Auftragung im Diagramm (siehe Abschnitt 2.3.1.2c) kann für vektorielle Größen entschieden werden, ob die x-, y- oder z-Komponente, der Betrag, der Richtungswinkel oder der Höhenwinkel verwendet werden soll.

Zur Begründung

- Modelle, bei denen Größen in mehreren Dimensionen berechnet werden müssen, werden übersichtlicher. Bei der Modellierung einer Planetenbewegung beispielsweise, welche durch die Gravitationswechselwirkung bestimmt wird, müssen Ort, Geschwindigkeit, Beschleunigung und Kraft mit jeweils mindestens zwei Koordinaten in das Modell integriert werden. Wenn ein Modellbildungssystem nur skalare Größen kennt, muss für jede Richtungskomponente jeder Größe eine eigene Systemgröße angelegt werden, für die Zustandsgrößen jeweils eigene Änderungsraten, wie in Abbildung 38 gegenüberstellend verdeutlicht. Das bringt eine Reihe von Problemen mit sich.
 - Das System wird dadurch unnötig umfangreich und unübersichtlich, so dass der Blick auf die entscheidenden Zusammenhänge leicht verstellt werden kann. Dem Anspruch der Systemdynamik, Wechselwirkungen in Systemen anschaulich zu

²⁰ Soweit vom Autor ermittelt werden konnte, existiert aktuell kein weiteres, allgemein verfügbares, graphisches Modellbildungssystem, das direkt mit Vektorgrößen umgeht.

machen und die Einsicht in systemische Zusammenhänge zu fördern, werden derartige Modelle nur eingeschränkt gerecht.

- Es werden Unterscheidungen zwischen „Größen“ erforderlich, die eigentlich nur Bestandteile einer einzigen Größe sind, was beim Erkennen der entscheidenden physikalischen Zusammenhänge durch die Schüler hinderlich sein kann. Im genannten Beispiel würden sich sogar zwei voneinander getrennte, jeweils geschlossene Wirkungsketten ergeben.
- Wenn noch dazu Änderungsraten mit eindeutigen Namen versehen werden müssen (siehe hierzu Abschnitt ab), kann das insgesamt zu verwirrenden Bezeichnungen führen. Im Beispiel der Kreisbewegung wären etwa „Geschwindigkeitsänderung_x“, „Geschwindigkeitsänderung_y“, „Beschleunigung_x“ und „Beschleunigung_y“ jeweils einzelne Systemelemente, obwohl es doch eigentlich um eine einzige Größe geht. Auch dies ist Schülern schwer zu vermitteln.
- Wie an der Darstellung in Abbildung 38 verdeutlicht, sind auch einfache Vektoroperationen - wie in diesem Fall die Ermittlung der Länge des Ortsvektors zur Berechnung der Kraft - nur mit zusätzlichem Aufwand möglich.
- Durch die explizite Unterscheidung zwischen vektoriellen und skalaren Größen bereits in der Jahrgangsstufe 11 werden die entsprechenden physikalischen Größen von Anfang an so behandelt, wie es ihrer tatsächlichen Natur entspricht.

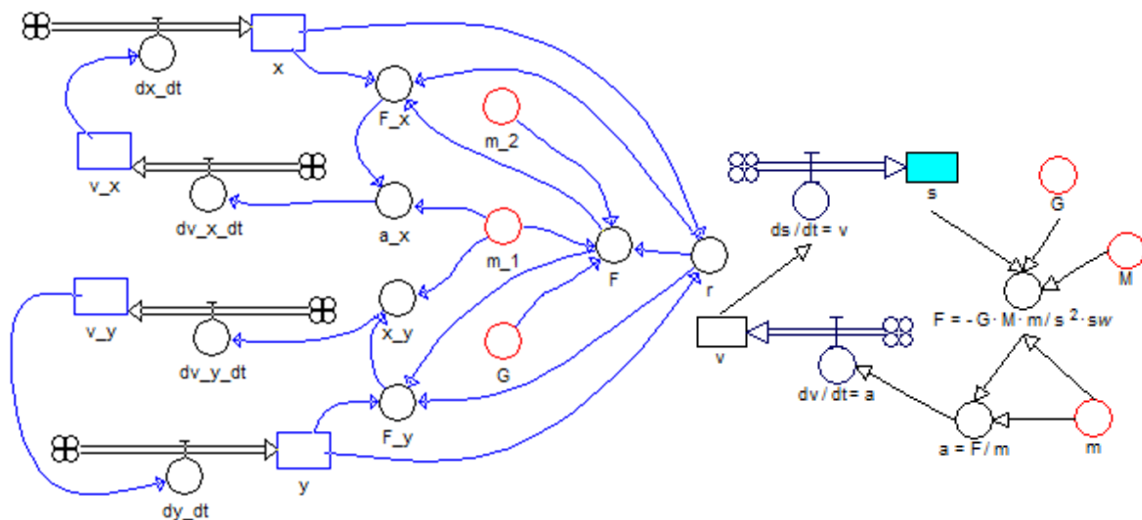


Abbildung 38: Modelle mit und ohne Vektorgößen. Die Darstellungen zeigen zwei Modelle einer Planetenbewegung. Beide Modelle verwenden die gleichen physikalischen Basisgesetze. Im rechten Modell werden Ort, Geschwindigkeit, Beschleunigung und Kraft direkt als vektorielle Größen definiert, im linken müssen die Größen in ihre Richtungskomponenten zerlegt und einzeln berechnet werden. In beiden Modellen wird eine der beiden Massen als Koordinatenursprung gewählt.

- Dadurch wird unter anderem vermieden, Konstrukte wie „negative Geschwindigkeiten“ oder „negative Beschleunigungen“ einzuführen - Abstraktionen also, die für viele Schüler Verständnishürden darstellen und ohnehin nicht der tatsächli-

chen Natur der Größen entspringen. Die ohnehin etwas problematische Verwendung von Vorzeichen im Unterricht wird dadurch entschärft.

- Sind schon im Fall eindimensionaler Bewegungen die beteiligten Vektorgrößen als solche erkannt worden, ist der Schritt zu überlagerten Bewegungen, etwa dem „schiefen Wurf“, für die Schüler wesentlich leichter einsichtig.
- Die Verwendung von vektoriellen Größen ist außerdem sehr hilfreich, wenn der Anspruch besteht, das Modell gleichzeitig als Grundlage für animierte Simulationen zu verwenden, wie dies neben der hier beschriebenen Software auch Pakma[®] (beschrieben in Abschnitt 2.2.1.3) anstrebt.
 - Bei diesem Vorhaben ist es erforderlich, zumindest einem bewegten Objekt aus dem Modell heraus einen Ort zuzuweisen. Bei der Verwendung von Vektorgrößen lässt sich das durch die Zuweisung einer einzigen Größe realisieren.
 - Werden nicht Kugeln und Punktmassen, sondern - wie in MV1 - unter anderem Fahrzeuge bewegt, so besitzen diese zusätzlich zur Position auch eine Richtung. Auch diese kann am einfachsten durch eine Vektorgröße zugewiesen werden.
 - Das gleiche gilt schließlich noch für die Ausdehnung, die nicht in Höhe, Länge und Breite (deren Zuordnung ohnehin willkürlich ist) aufgeteilt werden muss.

ab) Umgang mit Änderungsraten

Beim Umgang mit Änderungsraten weist MV1 zwei Besonderheiten auf:

- Es wird nicht zwischen Zufluss und Abfluss unterschieden. Stattdessen gibt es nur ein Symbol unabhängig vom Vorzeichen der Änderung.
- Änderungsraten werden nicht wie Größen mit einem Namen belegt. Beschriftet werden sie mit der mathematischen Operation, die ihnen entspricht, also der zeitlichen Ableitung. Beispiel: „ ds/dt “

Zur Begründung

- Die Unterscheidung zwischen Zufluss und Abfluss erklärt sich durch den Ursprung der Systemdynamik in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, wo Änderungen meist eindeutige und feste Vorzeichen besitzen.
 - In der Physik ist diese Unterscheidung selbst bei Betrachtung nur einer Dimension nur selten möglich, da Änderungen während einer Simulation durchaus mehrfach das Vorzeichen wechseln können, wie zum Beispiel die Geschwindigkeit bei einem harmonischen Oszillator.
 - Wird eine vektorielle Größe (die auch als solche definiert ist) durch eine Änderungsrate beeinflusst, ist die Unterscheidung sogar völlig unsinnig, da die Änderung genau genommen gar kein Vorzeichen hat, sondern eine Richtung.

Die Aufhebung der Unterscheidung vermeidet daher unnötige Verwirrung durch die Übertragung ungeeigneter Vorstellungen auf physikalische Probleme.

- Die Notwendigkeit der Benennung von Änderungsraten kann (zumindest bei physikalischen Problemen) unerwünschte Folgen haben. So ist zunächst nicht völlig klar, ob die Änderungsrate selbst eine Größe sein soll oder nur eine mathematische Operation. Beispielsweise scheint es auf den ersten Blick nahe liegend zu sein, der Änderungsrate des Ortes („s“) direkt den Namen „Geschwindigkeit“ („v“) zu geben. Das führt aber zu dem Problem, dass die Geschwindigkeit noch einmal als Zustandsgröße auftaucht, doppelte Namensgebungen aber weder erlaubt noch sinnvoll sind. Es muss also ein anderer Name gefunden werden, sinnvollerweise etwa „Zeitliche_Ortsänderung“ („ds/dt“). Das bedeutet aber wiederum nichts anderes, als zwischen der Operation der zeitlichen Ableitung des Ortes und der Größe Geschwindigkeit zu unterscheiden, wodurch die Benennung trivial (die Änderungsrate des Ortes ist natürlich eine zeitliche Ortsänderung) und somit verzichtbar wird.

Die automatische Bezeichnung im Modelleditor von MV1 macht direkt und unmissverständlich klar, dass die Änderungsrate nichts anderes als ein Symbol für die Operation der zeitlichen Ableitung und selbst zunächst keine eigenständige Größe ist.

- Dies nimmt einerseits dem Schüler die Lösung des beschriebenen, nicht physikalischen Problems ab.
- Andererseits wird dadurch vermieden, dass der Schüler das beschriebene Problem nur teilweise erkennt und die Änderungsraten daher inkonsequent verwendet. Beispielsweise könnte in einem Modell der gleichmäßig beschleunigten Bewegung die eine Änderungsrate korrekt als „Zeitliche_Ortsänderung“ benannt werden, die andere aber als „Beschleunigung“.

Beide Probleme wurden auch von den Entwicklern von Pakma[®] erkannt und gelöst, allerdings auf andere Weise als in MV1 (siehe hierzu Abschnitt 2.2.1.3).

ac) **Namen und Formelzeichen**

Bei der Benennung von Größen gibt es ebenfalls zwei Besonderheiten in MV1:

- Es wird unterschieden zwischen dem Namen der Größe (beispielsweise „Beschleunigung“) und dem Formelzeichen (beispielsweise „a“).
- Bei den Formelzeichen wird zwischen Groß- und Kleinschreibung unterschieden.

Zur Begründung

Beide Eigenschaften der Software scheinen selbstverständlich zu sein, die Unterscheidungen werden aber von den meisten anderen Programmen nicht getroffen.

- Die erste Unterscheidung hat vor allem Auswirkungen auf den Unterricht.
 - Bei anderen Modellbildungsprogrammen muss man sich entscheiden, ob man den Namen der Größe oder ein Formelzeichen verwenden will. Beides hat jedoch Vor- und Nachteile: Klartextnamen sind eindeutiger und unmissverständlicher, können aber für lange und unübersichtliche Formeln sorgen. In MV1 kann jedoch in For-

meinen das (kürzere) Formelzeichen verwendet werden, trotzdem lassen sich die Größen auf Wunsch mit ihren Klartextnamen beschriften.

- Außerdem werden die Schüler durch diese Doppelbenennung angehalten, sich Namen und Formelzeichen jeder Größe in Kombination ins Gedächtnis zu rufen, wodurch sich der Zusammenhang besser einprägen sollte.
- In der Physik stehen häufig große und kleine Buchstaben für unterschiedliche Größen. Beispielsweise „a“ für Beschleunigung und „A“ für Fläche, oder „v“ für Geschwindigkeit und „V“ für Volumen. Fehlt diese Unterscheidung, können möglicherweise nicht die im Unterricht sonst verwendeten Bezeichnungen vergeben werden, was wieder eine Verständnishürde darstellen kann.

ad) Einheiten und Umrechnungsfaktoren

Der Modelleditor von MV1 kann (in gewissen Grenzen) mit Einheiten²¹ umgehen. Das bedeutet im Detail:

- Jeder Größe wird eine Einheit zugeordnet.
- Über einen so genannten „SI-Faktor“ wird angegeben, in welchem Umrechnungsverhältnis die verwendete Einheit zur entsprechenden Grundeinheit im SI-System²² steht. Wird beispielsweise km/h als Einheit angegeben, so beträgt der SI-Faktor 3,6 (1 m/s entspricht 3,6 km/h).
- Das Zuweisen von Werten durch den Benutzer im Modelleditor geschieht in der angegebenen Einheit, ebenso werden Ergebnisse in dieser Einheit ausgegeben. Vor der Anwendung von Formeln und Algorithmen rechnet die Software aber jeden Wert in Grundeinheiten um, sodass die Einheiten immer korrekt berücksichtigt werden.
- Bei der Ausgabe von Werten über die Zahlenwertausgabe kann - je nach Wahl des Benutzers - für sehr große oder sehr kleine Werte automatisch ein Präfix vor die Einheit gesetzt und der Wert entsprechend umgerechnet werden (also etwa mV, μ V, nV, fV oder kV, MV, GV, TV usw.), wobei bereits vorhandene Präfixe automatisch berücksichtigt werden.

Zur Begründung

- Bei anderen Modellbildungssystemen kommen Einheiten (zumindest innerhalb des Modells selbst) gar nicht vor. Auch dies ist erklärbar durch den Ursprung der Systemdynamik in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. Bei physikalischen Modellen ist es hingegen didaktisch sinnvoll, Einheiten zu verwenden.

²¹ Nach Kenntnis des Autors wird auch diese Möglichkeit von keinem anderen graphischen Modellbildungssystem angeboten.

²² SI ist die Abkürzung für „Le Système international d'unités“ und bezeichnet das in der Wissenschaft gültige, internationale Einheitensystem.

- Die Schüler werden bei der Erstellung eines Modells angehalten, neben Namen und Formelzeichen auch die verwendete Einheit anzugeben, wodurch sich dieser Zusammenhang besser einprägt.
- Die Frage der Dimensionierung der Größen kann in der Modellbildung leicht untergehen, wenn nur mit Zahlenwerten ohne expliziten Bezug zu realen Größenverhältnissen gerechnet wird.
- Wird ein Modell im Zusammenspiel mit einem Realversuch verwendet, müssen die verwendeten Einheiten angeglichen werden, damit die Messwerte mit den Ergebnissen der Simulation verglichen werden können. Dies muss bei anderen Modellbildungssystemen vom Benutzer „manuell“ durchgeführt werden, bei MV1 übernimmt diese Aufgabe der Modelleditor. Die beschriebene Funktion stellt somit eine Erleichterung bei der kombinierten Verwendung mit Realversuchen dar, da sie den Schülern didaktisch wenig wertvolle Routinetätigkeiten abnimmt.

ae) Untermodelle und Referenzgrößen

Systeme lassen sich im Modelleditor von MV1 in Subsysteme und diese wieder in Subsysteme gliedern²³.

- Hierzu können in ein jedes Modell *Untermodelle* eingebunden werden, die jeweils einen eigenen Namen besitzen. Dabei bildet sich insgesamt eine baumartig verzweigte Struktur („Baumstruktur“), deren Stamm das *Hauptmodell* bildet. Die Baumstruktur kann in der linken oberen Ecke des Editors angezeigt werden. Per Mausklick kann der Benutzer dann zwischen den Teilmodellen wechseln (siehe hierzu auch Abschnitt 2.3.1.2a).
- Um sich auf eine Größe in einem anderen Teilmodell zu beziehen und diese Größe etwa in einer Formel zu verwenden, wird eine *Referenzgröße* in das Teilmodell eingefügt. Die Referenzgröße nimmt stets denselben Wert an wie die Bezugsgröße und besitzt auch automatisch die gleiche Größenart (vektoriell oder skalar) und die gleiche Einheit. Referenzgrößen können sich in MV1 nur auf das unmittelbar über- oder untergeordnete Teilmodell beziehen.



Abbildung 39: Referenzen in MV1. Eine Referenzgröße bezieht sich auf eine andere Größe in einem anderen Teilmodell. Handelt es sich dabei um ein untergeordnetes Teilmodell, zeigt die Spitze des Referenzsymbols nach unten, sonst zeigt sie nach oben. Die referenzierten Größen werden mit einem kleinen Dreieck versehen, das in die je entgegengesetzte Richtung zeigt.

²³ Einige graphische Modellbildungssysteme bieten zwar die Möglichkeit, Systemelemente etwa durch Umrahmung mit Kästchen (Stella) oder Unterlegung mit farbigen Flächen (Pakma) optisch zu Gruppen zusammenzufassen. Eine vergleichbare Möglichkeit zur Gliederung in Untermodelle, wie sie hier beschrieben wurde, bietet jedoch kein anderes der gesichteten Programme.

- Wie in Abbildung 39 zu sehen, besteht das Symbol der Referenzgrößen aus einem Rechteck mit einer Spitze, die nach oben oder unten zeigen kann, je nachdem, ob das Teilmodell der Bezugsgröße über- oder untergeordnet ist. Die referenzierte Bezugsgröße selbst wird durch ein kleines Dreieck in ihrem Inneren gekennzeichnet, das jeweils entgegengesetzt gerichtet ist.

Zur Begründung

- Umfangreichere Modelle können leicht unübersichtlich werden und damit dem systemischen Erkenntnisprozess im Wege stehen. Durch die Aufteilung eines Modells in Untermodelle kann die Komplexität eines einzelnen Teilmodells in Grenzen gehalten und so die Übersichtlichkeit bewahrt werden.
- In vielen Fällen besteht die Möglichkeit, ein Modell so in Teilmodelle zu gliedern, dass die Systeme und Subsysteme weitgehend die Struktur des realen physikalischen oder technischen Systems abbildet. So kann etwa das Getriebe als Teil des Antriebs verstanden werden und wiederum dieser als Teil des Fahrzeugs (vergleiche Abschnitt 2.3.1.5c), wobei der Schüler explizit die Schnittstellen benennen muss, an welchen die Systeme miteinander in Verbindung stehen. Eine solche Metastruktur kann dem Schüler zusätzliche Einsichten über den Aufbau physikalischer und technischer Systeme und das Zusammenwirken seiner Bestandteile ermöglichen.

af) Verzweigungsgrößen

Der Modelleditor von MV1 kennt noch ein weiteres, zusätzliches Systemelement, das in den Flussdiagrammen der Systemdynamik ursprünglich nicht vorgesehen war, das aber auch (in ähnlicher Form) von Stella (siehe Abschnitt 2.2.1.2a) verwendet wird. Es handelt sich dabei um die so genannten *Verzweigungsgrößen*.

- Eine Verzweigungsgröße führt einen Vergleich zwischen zwei Argumenten durch. Mögliche Argumente sind dabei beliebige Größen innerhalb des Modells und bei Vektoren auch deren Bestandteile (x, y, z, Betrag, Richtungswinkel und Höhenwinkel) sowie natürlich Zahlenwerte. Als Vergleichsoperatoren stehen $<$, $>$, $=$, $<=$, $>=$ und $<>$ zu Verfügung.
- In Abhängigkeit vom Ergebnis des Vergleichs nimmt die Größe entweder den einen (unter „Dann“ angegebenen) oder den anderen (unter „Sonst“ angegebenen) Wert an. Auch für diese Werte gilt, dass sie in Form von Größen, deren Bestandteilen oder Zahlenwerten angegeben werden können. Dabei müssen die betreffenden Größen natürlich dem für die Verzweigungsgröße festgelegten Größentyp zugehören.
- Verzweigungsgrößen werden symbolisiert durch ein auf der Spitze stehendes Quadrat, wie in Abbildung 40 zu sehen.



Abbildung 40: Weitere Besonderheiten des Modelleditors in MV1. Verzweigungsgrößen werden symbolisiert durch auf der Spitze stehende Quadrate (rechts). Erforderliche Größen werden blau ausgefüllt (Mitte), durch Datensätze zugewiesene Größen besitzen eine gelbe Füllung (links). Treffen auf eine Größe beide Kriterien zu, wird sie in der Mischfarbe Grün gefüllt.

Zur Begründung

- Nicht alle Größen innerhalb realer, physikalischer, dynamischer Systeme ändern sich kontinuierlich und hinreichend langsam. Es gibt durchaus Fälle, in denen die Änderung einer Größe sich sehr plötzlich vollzieht oder sogar diskrete Sprünge macht. Der Übergang zwischen Haft- und Gleitreibung beim Überschreiten der Haftgrenze etwa (siehe hierzu auch Abschnitt 2.3.1.5b) geschieht relativ sprunghaft, und die Schaltstufen beim Getriebe (siehe Abschnitt 2.3.1.5c) sind tatsächlich diskret. Derart plötzliche Wertänderungen lassen sich mit den Systemelementen der ursprünglichen systemdynamischen Flussdiagramme kaum realisieren.
- Es gibt aber noch viele weitere Anwendungsmöglichkeiten. So kann beispielsweise zu einem bestimmten Zeitpunkt oder an einem bestimmten Ort der Bremsvorgang eines Fahrzeugs ausgelöst werden. Oder beim Stoß zweier Körper könnte das Unterschreiten eines bestimmten Abstandes Voraussetzung für eine elastische Kraftwirkung sein.

ag) Wertzuweisung über Datensätze

Es besteht die Möglichkeit, ausgewählten Größen über benannte Datensätze in Datensatzdateien Werte zuzuweisen. Die im Modelleditor direkt angegebenen Werte werden damit (temporär, nicht in der Modelldatei) überschrieben.

Abbildung 40 zeigt, wie sich Größen mit derart zugewiesenen Werten im Flussdiagramm bemerkbar machen: Sie werden *gelb* ausgefüllt. Es handelt sich um eine Eigenschaft, die für ein bestimmtes Objekt gilt und nicht Bestandteil des Modells an sich ist.

Das genaue Procedere beim Umgang mit Datensätzen ist in 2.3.1.3e) beschrieben.

Zur Begründung

Die Erforderlichkeit dieser Besonderheit liegt in der Verwendung von Objekten, welchen jeweils ein Modell zugeordnet wird. Wird nämlich mehreren Objekten das gleiche Modell zugeordnet, müssen diese sich in einzelnen Parametern oder Startwerten unterscheiden können. Bei der Simulation eines Planetensystems etwa gelten für jeden Himmelskörper die gleichen physikalischen Zusammenhänge, die daher auch mit dem gleichen Modell berechnet werden können - die Himmelskörper unterscheiden sich aber in Masse, Volumen und Dichte, sowie in ihrer aktuellen Position und Geschwindigkeit.

ah) Erforderliche Größen

Jede Inhaltskomponente weist eine Liste von *erforderlichen Größen* auf, welche die Komponente für ihre Simulation unbedingt benötigt. Diese Größen sind festgelegt durch

ihren *Namen* (nicht ihr Formelzeichen) und müssen jeweils einer bestimmten Größenart (skalar oder vektoriell) angehören.

Fehlt eine der Größen, wird diese in der Fehlerbeschreibung explizit angefordert. Es gibt aber auch die Möglichkeit, alle erforderlichen Größen bei ihrem Fehlen bzw. beim Erstellen neuer, leerer Modelle automatisch erstellen zu lassen. Diese Funktion kann ausgewählt werden in der Eigenschaftenseite „Modelleditor“ (siehe Abbildung 32).

Wie in Abbildung 40 zu sehen ist, werden erforderliche Größen im Flussdiagramm *blau* ausgefüllt. Wird einer erforderlichen Größe zusätzlich aus einem Datensatz ein Wert zugewiesen, wird die Mischfarbe *Grün* verwendet.

Zur Begründung

Die Software MV1 kombiniert graphische Modellbildung mit interaktiven Computersimulationen. Damit die Objekte im Simulationsteil sich nach den Berechnungen des zugeordneten Modells verhalten können, muss die Software wissen, welche Größe welcher Objekteigenschaft entspricht. In der Version 1.0.5 ist dies über erforderliche Größen mit festen Namen gelöst, Version 2 verwendet hierzu eine andere Methode (siehe Abschnitt 2.3.2).

Bei den meisten Inhaltskomponenten sind daher zumindest die Größen „Position“, „Ausrichtung“ und „Ausdehnung“ als erforderlich vorgegeben, weitere kommen je nach spezifischem Kontext und Aufbau der Darstellung hinzu.

ai) Erweiterte Beschriftungen

Im Flussdiagramm wird jedes der einzelnen Systemelemente mit einer Beschriftung versehen, die jeweils unter dem entsprechenden Symbol steht. Im Modelleditor von MV1 stehen dem Benutzer hierzu vier verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, zwischen denen er wechseln kann:

- Name der Größe
- Formelzeichen der Größe
- Kompletter, mathematischer Zusammenhang
- Zahlenwert mit Einheit

Zur Begründung

In anderen Programmen werden in den Flussdiagrammen stets nur die Namen der Größen als Beschriftung angezeigt. Mathematische Zusammenhänge, welche in Formelgrößen und Änderungsraten enthalten sind, können nur in einem getrennten Fenster als Liste von Gleichungen angezeigt werden. Die Zuordnung zwischen Gleichungen und Symbolen muss der Schüler also in seiner Vorstellung leisten.

Mit den hier vorgestellten Beschriftungsmöglichkeiten braucht der Schüler die Ebene der graphischen Symbolsprache nicht zu verlassen, um das vollständige Modell einschließlich der Formeln im Zusammenhang darzustellen. Dies ist für die Anschaulichkeit der systemischen Wechselwirkungen sehr förderlich.

b) Besonderheiten beim Umgang mit Formeln

Obwohl die Verwendung von Flussdiagrammen die Reduktion komplexer Systeme auf elementare Zusammenhänge (Basisgesetze) ermöglicht, lässt sich die Verwendung von (überschaubaren) Formeln in der Systemdynamik nicht vermeiden (vergleiche Abschnitt 2.1.2.3). Sie werden benötigt bei der Definition von Änderungsraten und Zwischengrößen (in der Variante Formelgröße), da die Symbole zwar anzeigen, welche Größe welche andere beeinflusst, nicht jedoch die konkreten mathematischen Zusammenhänge darstellen.

Suffix	Beispiel	Ergebnis	Bedeutung
<i>Größe.x</i>	v.x	Skalar	<i>x-Komponente des Vektors</i>
<i>Größe.y</i>	v.y	Skalar	<i>y-Komponente des Vektors</i>
<i>Größe.z</i>	v.z	Skalar	<i>z-Komponente des Vektors</i>
<i>Größe.wx</i>	v.wx	Vektor	<i>x-Komponente des Vektors</i>
<i>Größe.wy</i>	v.wy	Vektor	<i>y-Komponente des Vektors</i>
<i>Größe.wz</i>	v.wz	Vektor	<i>z-Komponente des Vektors</i>
<i>Größe.b</i>	v.b	Skalar ≥ 0	<i>Betrag des Vektors</i>
<i>Größe.w</i>	v.w	Einheitsvektor	<i>Richtung des Vektors</i>
<i>Größe.s</i>	v.s	Einheitsvektor	<i>Richtung des Vektors, gedreht um $\pi/2$ in x-y-Ebene</i>

Tabelle 1: Mögliche Suffixes für Vektorgrößen in Formeln. In der linken Spalte ist die Schreibweise angegeben, wobei *Größe* durch das Formelzeichen der Vektorgröße zu ersetzen ist. In der zweiten Spalte ist jeweils ein Beispiel angegeben. Aus der dritten Spalte kann entnommen werden, welcher Größenart der gesamte Ausdruck entspricht.

Auch wenn die einzelne Formel idealerweise lediglich ein Basisgesetz definiert, besitzt dieses Modellbildungssystem die Fähigkeit, nahezu beliebig komplexe Terme zu interpretieren und zu berechnen und bei syntaktischen Fehlern ausführliche Fehlerberichte zu liefern (siehe Abschnitt 2.3.1.2a). Da dieses Modellbildungssystem in der Lage ist, auch mit vektoriellen Größen umzugehen, sind dabei einige Besonderheiten zu beachten, die in Tabelle 2 erläutert werden.

Jede Größe wird prinzipiell über ihr Formelzeichen referenziert. Handelt es sich um eine vektorielle Größe, kann dem Formelzeichen wahlweise ein Suffix angehängt werden, deren Bedeutungen in Tabelle 1 aufgelistet sind. Das Ergebnis ist dabei in einigen Fällen wieder ein Vektor, in anderen ein Skalar. Neben Formelzeichen vektorieller und skalarer Größen können auch Fließkommazahlen in den Formeln vorkommen. Außerdem stehen die Operatoren zur Verfügung, welche in Tabelle 2 aufgeführt sind.

Suffix	Beispiel		Ergebnis	Bedeutung
<i>Skalar</i> ₁ + <i>Skalar</i> ₂	m1 + m2	$m_1 + m_2$	Skalar	Addition
<i>Vektor</i> ₁ + <i>Vektor</i> ₂	v1 + v2	$\vec{v}_1 + \vec{v}_2$	Vektor	Addition
<i>Skalar</i> ₁ - <i>Skalar</i> ₂	m1 - m2	$m_1 - m_2$	Skalar	Subtraktion
<i>Vektor</i> ₁ - <i>Vektor</i> ₂	v1 - v2	$\vec{v}_1 - \vec{v}_2$	Vektor	Subtraktion
<i>Skalar</i> ₁ * <i>Skalar</i> ₂	m1 * m2	$m_1 \cdot m_2$	Skalar	Multiplikation
<i>Skalar</i> * <i>Vektor</i>	m * a	$m \cdot \vec{a}$	Vektor	S-Multiplikation
<i>Vektor</i> ₁ * <i>Vektor</i> ₂	F * r	$\vec{F} \cdot \vec{r}$	Skalar	Skalarprodukt
<i>Vektor</i> ₁ X <i>Vektor</i> ₂	v X r	$\vec{v} \times \vec{r}$	Vektor	Kreuzprodukt
<i>Skalar</i> ₁ / <i>Skalar</i> ₂	D / m	D/m	Skalar	Division
<i>Vektor</i> / <i>Skalar</i>	F / m	\vec{F}/m	Vektor	Division
<i>Skalar</i> ₁ ^ <i>Skalar</i> ₂	t ^ 2	t^2	Skalar	Potenz
<i>Vektor</i> ^ <i>Skalar</i>	v ^ 2	\vec{v}^2	Skalar	Potenz
Wurzel <i>Skalar</i>	Wurzel D	\sqrt{D}	Skalar	Quadratwurzel
Betrag <i>Vektor</i>	Betrag v	$ \vec{v} $	Skalar >=0	Betrag des Vektors
Betrag <i>Skalar</i>	Betrag t	$ t $	Skalar >=0	Betrag des Skalars
Positiv <i>Skalar</i>	Positiv t	$\max(0; x)$	Skalar >=0	Maximum (0 ; x)
Richtung <i>Vektor</i>	Richtung v	$\frac{\vec{v}}{ \vec{v} }$	Einheitsvektor	Richtungsvektor
Sin <i>Skalar</i>	Sin t	$\sin(t)$	Skalar	Sinus
Cos <i>Skalar</i>	Cos t	$\cos(t)$	Skalar	Kosinus
Tan <i>Skalar</i>	Tan t	$\tan(t)$	Skalar	Tangens
Arctan <i>Skalar</i>	Arctan x	$\arctan(x)$	Skalar	Arcus Tangens

Tabelle 2: Verfügbare Operatoren in Formeln. In der linken Spalte ist ein Ausdruck mit dem Operator angegeben, wobei die kursiv gedruckten Wörter sind jeweils durch Formelzeichen zu ersetzen sind. Es folgt je ein Beispiel im Eingabeformat (Spalte 2) sowie in üblicher Schreibweise (Spalte 3)

Fließkommazahlen sind immer mit „echtem“ Komma, nicht mit Punkt anzugeben. Einheiten dürfen in Formeln nicht vorkommen. Werden Operatoren auf nicht zulässige Größenarten angewandt oder ergibt ein Ausdruck nicht die Größenart, welche der Größe zugewiesen wurde, wird dies in den Fehlerbericht (siehe Abbildung 26) aufgenommen. Im Übrigen können Ausdrücke mit beliebig verschachtelten (runden) Klammern versehen werden, die Berechnungen werden stets in der arithmetisch korrekten Reihenfolge ausgeführt.

c) Erleichterungen bei der Modellerstellung

Ein gewichtiges Problem beim Einsatz von Modellbildungssystemen im Unterricht ist der Zeitaufwand, der zur Erstellung von Modellen durch die Schüler erforderlich ist. Nicht gemeint sind damit natürlich die Zeiten, in denen physikalische oder systemische Erkenntnisse gewonnen werden. Vielmehr weisen die meisten Programme eine Reihe von *syntaktischen und prozeduralen Zwängen* auf, die für den Schüler nicht lehrreich, aber hinderlich sind.

- Hierfür zunächst zwei Beispiele:
 - Die Bearbeitung einer Größe in Dynasys[®] kann nicht angeschlossen werden, wenn nicht alle verknüpften Größen verwendet wurden oder noch nicht verknüpfte Größen in der Formel enthalten sind. Es ist also erforderlich, immer erst alle Größen zu erstellen, sie dann zu benennen, dann alle Zuordnungspfeile zu setzen und erst ganz am Ende die Größen mit Formeln zu versehen. Wurde bei dieser Reihenfolge irgendein Schritt nicht gleich beachtet, also etwa eine Zuordnung vergessen, eine Zuordnung zu viel gesetzt oder eine Größe noch nicht oder falsch benannt, muss die Bearbeitung abgebrochen, das Versäumte nachgeholt und später die Bearbeitung erneut begonnen werden.
 - Ein Simulationsdurchgang kann immer erst dann gestartet werden, wenn das Modell vollständig und fehlerfrei ist. Jede nicht komplett definierte Größe, selbst wenn sie gar nicht verwendet wird, verhindert die Ausführung der Berechnung.
- Diese Eigenschaften haben mehrere Konsequenzen:
 - Es ist erforderlich, das Modell bereits vor der Erstellung genau zu planen. Ein kleinschrittiges Entstehen des Modells erst während der Eingabe ist mit vielen Unterbrechungen und Verzögerungen verbunden.
 - Auch wenn das Modell bereits vor dem Beginn vollständig geplant wurde, führt nur ein routiniertes und geradliniges Vorgehen bei der Erstellung einigermaßen zügig zum Ziel. Bis diese Routine erworben wurde, werden die Schüler aber häufig durch Nichtbeachtung der genannten Notwendigkeiten in ihrem Fortkommen gebremst und behindert.
 - Dies führt aber nicht nur dazu, dass relativ viel Unterrichtszeit für diese Routinebildung (die nicht jeder Schüler erreichen wird) aufgewandt werden muss. Es zö-

gert vielmehr die ersten Erfolgserlebnisse weit hinaus, schafft in der Zwischenzeit viele Misserfolgserlebnisse (die zum Teil nur durch Hilfestellung des Lehrers beseitigt werden können) und reduziert so insgesamt für längere Zeit die Motivation der Schüler beim Umgang mit der Software.

- Folgende Ansätze zur Lösung dieser Probleme wurden in den Modelleditor von MV1 aufgenommen:
 - Allgemein weist die Software bei der Erstellung von Modellen eine hohe Fehlertoleranz auf. Die Erstellung oder Bearbeitung eines Systemelements kann auch abgeschlossen werden, wenn die Eingaben noch unvollständig sind, wenn sie Fehler enthalten oder auf noch nicht definierte oder verknüpfte Größen verweisen. Dies führt dazu, dass alle Schritte in beliebiger Reihenfolge durchgeführt werden können. Vergessene Schritte oder fehlerhafte Eingaben werden in der ausführlichen Fehlermeldung explizit aufgelistet und können zu einem beliebigen Zeitpunkt bereinigt werden.
 - Das Erstellen von Zuordnungen wird bei entsprechender Konfiguration (siehe Abschnitt 2.3.1.3a) vollständig vom Modelleditor selbst ausgeführt²⁴. Sobald eine Größe durch eine andere (etwa in einer Formel) verwendet wird, erstellt der Editor einen entsprechenden Zuordnungspfeil; wird die Größe nicht mehr verwendet, wird die Zuordnung automatisch wieder entfernt. Der positive Effekt, dass die Zuordnungspfeile die systemischen Zusammenhänge anschaulich visualisieren, bleibt in vollem Umfang erhalten. Es entfällt aber ein Arbeitsschritt, der - wie beschrieben - einerseits Zeit kostet, andererseits eine potentielle Fehlerquelle darstellt.
 - Außerdem weist die Software bei der Ausführung der Simulation eine ebenso hohe Fehlertoleranz auf, wie dies bei der Erstellung der Fall ist. Das Programm weigert sich praktisch nie, den Simulationsvorgang zu starten, egal wie viele Fehler das Modell enthält. Dabei wird versucht, alle korrekten Bestandteile zu berücksichtigen und die fehlerhaften durch sinnvolle Annahmen zu umgehen. Die fehlenden Korrekturen können (anhand der Fehlerliste) dann nach und nach vorgenommen werden. Ziel ist es, den Weg zur ersten lauffähigen Simulation und damit zum ersten Erfolgserlebnis so kurz wie möglich zu gestalten und so die anfängliche Motivation länger aufrecht zu erhalten.
 - Die bereits mehrfach erwähnten ausführlichen Fehlerbeschreibungen sind außerdem förderlich, um ein selbständiges Arbeiten der Schüler zu ermöglichen. Anhand der konkreten Hinweise und der verständlichen Formulierungen sollten die

²⁴ Nach Kenntnis des Autors ist auch diese Möglichkeit bei keinem anderen graphischen Modellbildungssystem zu finden.

meisten Schüler in der Lage sein, ohne Hilfe des Lehrers ihre eigenen Fehler zu finden und zu beseitigen.

- Größen können jederzeit in eine andere Größenart umgewandelt werden. Wenn beispielsweise erst ein Modell der gleichförmigen Bewegung erstellt wurde, später dann aber eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung daraus werden soll, kann die Geschwindigkeit, sofern sie als Parameter angelegt wurde, in eine Zustandsgröße konvertiert werden. Dabei bleiben Name, Formelzeichen, Einheit, Wert, Größenart, SI-Faktor und alle Verknüpfungen vollständig erhalten.

2.3.1.5 Inhaltskomponenten

In diesem Abschnitt werden die einzelnen Inhaltskomponenten der Software vorgestellt, welche jeweils einen bestimmten, vorgegebenen Themenkomplex aus dem Bereich Straßenverkehr und Fahrzeugtechnik thematisieren und numerisch iterativ simulieren. Ergänzend wird zu jeder Komponente auch eine kurze Darstellung der analytischen Lösung des jeweiligen physikalischen Problems dargestellt - zur Nutzung der Software und zum Verständnis des jeweiligen Lerninhalts sind diese Lösungen aber ausdrücklich *nicht* erforderlich und müssen daher *nicht* notwendig im Unterricht thematisiert werden.

a) Anhalteweg

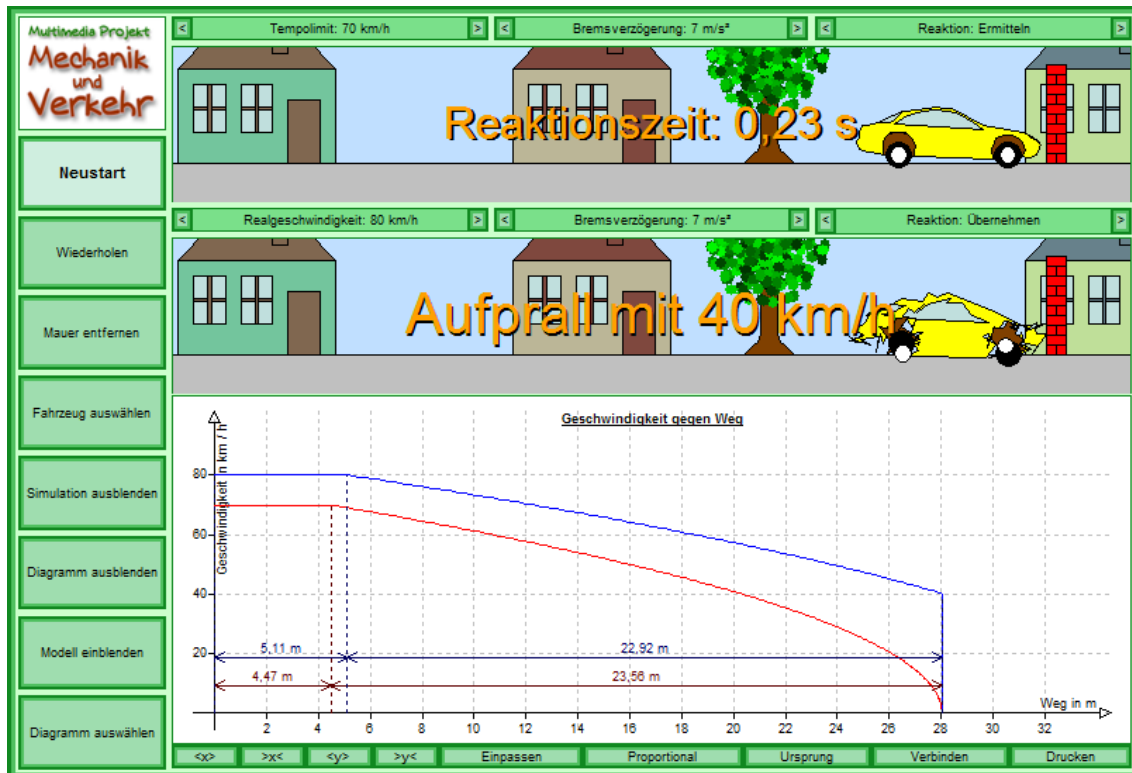


Abbildung 41: Inhaltskomponente „Anhalteweg“ in MV1. Erste Laufvariante: Das obere Fahrzeug kommt durch eine Vollbremsung genau vor dem Hindernis zum Stehen, das zweite mit höherer Geschwindigkeit schafft es nicht. Hohe Aufprallgeschwindigkeiten auch bei geringem Geschwindigkeitsunterschied. Zweite Laufvariante: Verlängerung des Anhalteweges statt Aufprall auf ein Hindernis.

Die Inhaltskomponente „Anhalteweg“ hat von allen Komponenten mit Abstand die weiteste Verbreitung auch außerhalb des Physikunterrichts gefunden. Über die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten innerhalb der Verkehrssicherheitsarbeit und die Bandbreite der nachfragenden Personen und Instanzen berichtet Bresges in seiner Habilitationsschrift. Um die Anwendung für den erweiterten Personenkreis zu erleichtern, wurde hier ausnahmsweise die beschriebene Flexibilität bei der Konfiguration von Simulation und Diagramm eingeschränkt und stattdessen eine Auswahl verschiedener, sinnvoll erscheinender Vorgaben zur Verfügung gestellt.

aa) Inhaltliche Eingrenzung

Bezüglich des lebensweltlichen Kontextes geht es allgemein um Gefahrbremsungen eines Fahrzeugs vor einem Hindernis auf gerader Strecke, physikalisch geht es um gleichförmige und gleichmäßig verzögerte, geradlinige Bewegungen.

ab) Ablauf und Benutzung

Wie in Abbildung 41 zu sehen ist, besitzt die Komponente zwei Simulationsbereiche, die beide das gleiche Szenario zeigen: ein Fahrzeug, das an einer Häuserzeile entlangfährt. Es werden nacheinander zwei simulierte Bremsvorgänge durchgeführt, erst mit

dem oberen, dann mit dem unteren Fahrzeug, dazwischen ist ein Klick auf „Weiter“ oder ein Druck auf die Leertaste erforderlich.

Für die beiden Fahrzeuge können mittels Eingabefeldern je oberhalb der Simulationsflächen unterschiedliche Werte für die Ausgangsgeschwindigkeit, die Bremsverzögerung und die Reaktionszeit eingestellt werden. Letztere kann entweder

- durch einen Reaktionstest individuell für den Anwender ermittelt werden, indem zu einem zufälligen Zeitpunkt der Schriftzug „Bremsen“ erscheint und der Anwender so schnell wie möglich die Leertaste drücken muss, oder
- als Zahlenwert in Sekunden vorgegeben werden.
- Für die zweite Simulation kann außerdem die gemessene Reaktionszeit aus der ersten Simulation übernommen werden, um gleiche Bedingungen zu schaffen. Dies ist auch die Voreinstellung.

Insgesamt stellt sich ein möglicher Ablauf also wie folgt dar: Der Anwender gibt die gewünschten Werte ein, startet die erste Simulation mit der Leertaste, wartet auf das Bremskommando, drückt reaktionsschnell wieder die Leertaste, wartet auf den Stillstand des Fahrzeugs und betätigt dann noch einmal die Leertaste, um die zweite Simulation zu starten.

Über diesen allgemeinen Ablauf hinaus hat der Nutzer in mehrfacher Hinsicht die Auswahl zwischen verschiedenen Lauf- und Darstellungsvarianten, die sich frei miteinander kombinieren lassen:

Auswahlmöglichkeit 1: Anhalteweg oder Aufprallgeschwindigkeit

Zunächst kann über den Schalter „Mauer verwenden“ oder „Mauer entfernen“ im Interaktionsbereich bestimmt werden, ob am Ende des Anhalteweges ein festes Hindernis stehen soll, das durch eine Mauer symbolisiert wird.

- *Laufvariante 1:* Soll das Hindernis verwendet werden, so wird dieses nach Ablauf der ersten Simulation genau vor dem ersten Fahrzeug platziert. Bei entsprechender Wahl der restlichen Parameter wird das zweite Fahrzeug auf diese Mauer aufprallen, wobei die Aufprallgeschwindigkeit angezeigt wird.
- *Laufvariante 2:* Wird die Simulation ohne Hindernis durchgeführt, wird nach der zweiten Simulation die Verlängerung oder Verkürzung des Anhalteweges angezeigt.

Auswahlmöglichkeit 2: Verschiedene Diagrammkonfigurationen

Der Schalter „Diagramm auswählen“ ermöglicht die Auswahl zwischen 4 verschiedenen Konfigurationen des Diagramms, die auch direkt sinnvoll skaliert werden:

- *Diagrammvariante 1:* Geschwindigkeit gegen Weg
- *Diagrammvariante 2:* Geschwindigkeit gegen Zeit
- *Diagrammvariante 3:* Kinetische Energie gegen Weg
- *Diagrammvariante 4:* Kinetische Energie gegen Zeit

Auswahlmöglichkeit 3: Anzahl der Bremsvorgänge

Schließlich besteht noch die Möglichkeit, zwischen verschiedenen Abläufen zu wählen, womit auch die Anzahl der Simulations- und Diagrammbereiche verbunden ist:

- *Laufvariante 1:* Nur ein Bremsvorgang, danach ist der Ablauf beendet. Diese Variante wird durch Ausblenden einer der Simulationsbereiche erreicht.
- *Laufvariante 2:* Zwei Bremsvorgänge. Diese Variante ist vorgewählt und entspricht den Abläufen, die bisher beschrieben wurden.
- *Laufvariante 3:* Zehn Bremsvorgänge. Es wird ein zweites Diagramm neben dem ersten eingeblendet. Alle Abläufe sind identisch mit Variante 2, die zweite Simulation wird aber automatisch 9-mal hintereinander durchgeführt. Die Ausgangsgeschwindigkeit wird dabei schrittweise von der ersten bis zu der zweiten eingegebenen Geschwindigkeit gesteigert. Je nach Einstellung bei Auswahlmöglichkeit 1 wird im zweiten Diagramm entweder die Aufprallgeschwindigkeit oder die Anhaltewegverlängerung gegen die Ausgangsgeschwindigkeit aufgetragen.

Auswahlmöglichkeit 4: Fahrzeugauswahl

Über den Schalter „Fahrzeugwahl“ kann der Anwender aus einer Auswahl mehrerer Fahrzeuge, die mit Bild und übertragenen Parametern angezeigt werden (vergleiche Abbildung in Abschnitt b), eines wählen. Die Auswirkungen auf die Ergebnisse halten sich in dieser Komponente aber in Grenzen (siehe unten).

ac) Physikalischer Gehalt

Der Anhalteweg s_{Anhalten} setzt sich zusammen aus dem Reaktionsweg s_{Reaktion} (vom Auftauchen der Gefahr bis zum Einleiten des Bremsvorgangs) und dem Bremsweg s_{Bremsen} (vom Bremsbeginn bis zum Stillstand):

$$s_{\text{Anhalten}} = s_{\text{Reaktion}} + s_{\text{Bremsen}}$$

Beim ersten Abschnitt, dem Reaktionsweg, handelt es sich um eine gleichförmige, geradlinige Bewegung. Geschwindigkeit und somit auch die kinetische Energie sind daher konstant, ändern sich also weder in Abhängigkeit vom Weg noch von der Zeit. Verzögernde Kräfte wie die Luftreibung und die Rollreibung werden durch die Antriebskraft gerade kompensiert.

Beim zweiten Abschnitt, dem Bremsweg, unterliegt das Fahrzeug, sofern die Reifen nicht blockieren, in einem einfachen Modell den folgenden drei wirkenden Kräften:

- *Rollreibung:* Diese Kraft wird verursacht insbesondere durch Reibungsverluste an Achsen und Getriebe. Sie kann in guter Näherung als konstant und proportional zur Normalkraft mit dem Koeffizienten c_r angenommen werden:

$$F_{\text{Roll}} = c_r \cdot F_{\text{Normal}} = c_r \cdot m \cdot g = \text{const}$$

- *Luftreibung:* Die Luftreibung ist quadratisch von der Geschwindigkeit abhängig sowie von einigen Konstanten: der Luftdichte ρ_{Luft} , der Stirnfläche A_{Stirn} des Fahrzeugs

und dem so genannten Luftwiderstandsbeiwert c_w , der von den aerodynamischen Eigenschaften des Fahrzeugs abhängt und in der Regel experimentell bestimmt wird:

$$F_{Luft} = -c_w \cdot A_{Stirn} \cdot \rho_{Luft} \cdot v^2$$

- **Bremskraft:** Die tatsächlich wirkende Bremskraft zu berechnen, ist kaum möglich, da sie durch eine Vielzahl verschiedener Faktoren beeinflusst wird, die sich grob in drei Komplexe gliedern lassen:
 - Das Bremsverhalten des Fahrers, das sich prinzipiell jeder Berechnung entzieht,
 - das Bremssystem des Fahrzeugs, das empfindlich etwa auf die Temperatur der Bremsscheiben, die Außentemperatur oder die Druckverhältnisse in den Bremsleitungen reagieren kann, und
 - die Haftung des Reifens auf der Fahrbahn, die neben Belag und Temperatur von Reifen und Straße unter anderem auch durch die dynamische Radlastverschiebung aufgrund der Schwerpunktverlagerung des Fahrzeugs beeinflusst wird. Auch Witterungsverhältnisse können ganz erheblich Änderungen bewirken.

Für die Hersteller von Fahrzeugkomponenten kann es durchaus interessant sein, diese vielfältigen Einflüsse mit aufwändigen Modellen detailliert und präzise zu simulieren, in einer didaktischen Simulation sollte man sich nicht in technischen Details verlieren, sondern didaktisch reduzieren.

So ist es durchaus sinnvoll, anzunehmen, dass moderne Bremssysteme die vielen Einflussfaktoren einigermaßen kompensieren und eine relativ konstante Bremsverzögerung nahe der Haftgrenze ermöglichen (siehe Abschnitt b).

$$F_{Brems} = -m \cdot a_{Haft}$$

Als grobe Richtwerte für die Haftgrenze können für schulische Zwecke etwa

- $a_{Haft} = 7 \frac{m}{s^2}$ bei trockener Fahrbahn,
- $a_{Haft} = 5 \frac{m}{s^2}$ bei regennasser Fahrbahn und
- $a_{Haft} = 3 \frac{m}{s^2}$ bei vereister Fahrbahn

verwendet werden. Auf speziellen Teststrecken erreichen einige Sportwagen mit technisch hochgerüsteten Bremssystemen zwar Verzögerungen von bis zu 12 m/s^2 , für gewöhnliche PKW und normale Verkehrswege sind die zuvor genannten Werte jedoch angemessen.

Die Gesamtkraft während des Bremsvorgangs setzt sich also wie folgt zusammen:

$$F_{Gesamt} = F_{Brems} + F_{Luft} + F_{Roll} = -m \cdot a_{Haft} - c_w \cdot A_{Stirn} \cdot \rho_{Luft} \cdot v^2 - c_r \cdot m \cdot g$$

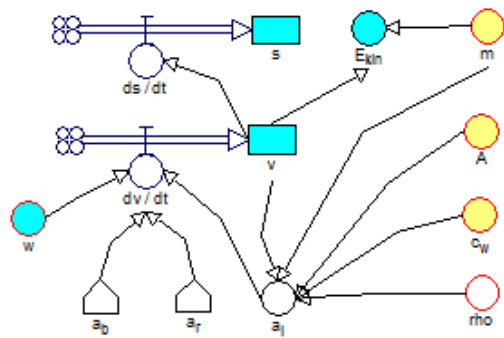


Abbildung 42: Vorgegebenes Modell des Bremsvorgangs aus der Komponente „Anhalteweg“ in MV1. Berücksichtigt werden Luftreibung, Rollreibung und Bremsverzögerung, wobei die beiden letzteren in Untermodelle ausgelagert sind (siehe nächsten Abschnitt). Außerdem berechnet wird die kinetische Energie des Fahrzeugs.

Diese Faktoren können im Modell für die numerische Simulation ohne Probleme berücksichtigt werden (vergleiche Abbildung 42). Für die analytische Berechnung des Vorgangs ist dies hingegen kaum sinnvoll, da die länglichen Rechnungen den Blick auf die physikalischen Zusammenhänge eher verstellen würden. Um die Kurvenverläufe der Diagrammvarianten qualitativ zu verstehen, reicht es jedoch aus, den Bremsvorgang als gleichmäßig verzögerte Bewegung aufzufassen.

Im Folgenden wird für jede Diagrammvariante ein Beispiel gezeigt, das von der Software numerisch berechnet wurde. Der Kurvenverlauf des nicht-trivialen zweiten Abschnittes wird jeweils zusätzlich analytisch berechnet, um die Übereinstimmung der Ergebnisse zu demonstrieren - zur Erstellung oder zum Verständnis der Diagramme ist dies nicht erforderlich.

Diagrammvariante 1:

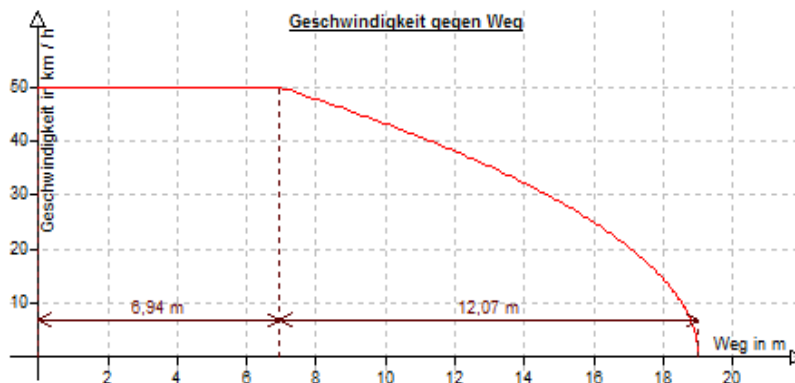


Abbildung 43: Variante 1 der Diagrammdarstellung der Inhaltskomponente „Anhalteweg“ in MV1. Als Reaktionszeit wurden 0,5 s gewählt.

Für die Abhängigkeit des Weges von der Zeit gilt:

$$s(t) = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$$

Für die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit gilt:

$$v(t) = a \cdot t + v_0 \Rightarrow t = \frac{v - v_0}{a}$$

Durch Einsetzen der zweiten Gleichung in die erste und mit $s_0=0$ erhält man:

$$s(v) = \frac{(v - v_0)^2 + 2 \cdot v_0 \cdot (v - v_0)}{2 \cdot a} \Rightarrow \boxed{v(s) = \sqrt{2 \cdot a \cdot s + v_0^2}}$$

Da bei einer Verzögerung $a < 0$ ist, entspricht die Form des Graphen also einer an der y-Achse gespiegelten Wurfelfunktion, was durch Abbildung 43 bestätigt wird.

Diagrammvariante 2:

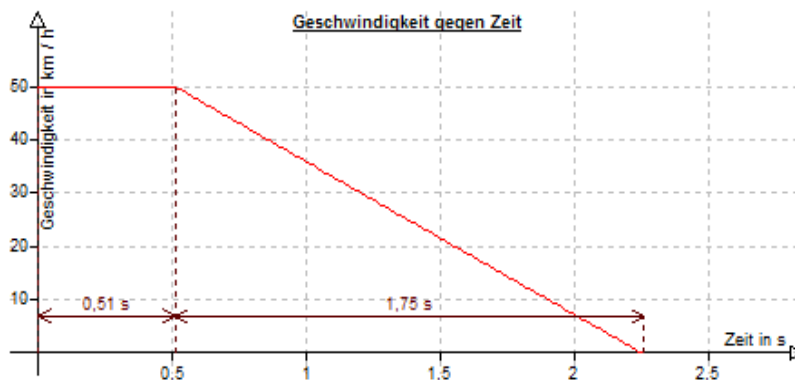


Abbildung 44: Variante 2 der Diagrammdarstellung der Inhaltskomponente „Anhalteweg“ in MV1. Als Reaktionszeit wurden 0,5 s gewählt.

Diese Darstellungsvariante ist relativ trivial und wurde in der vorherigen Herleitung schon verwendet. Für die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit gilt:

$$v(t) = a \cdot t + v_0$$

Es ergibt sich also eine lineare Funktion, bei $a < 0$ mit negativer Steigung.

Diagrammvariante 3:

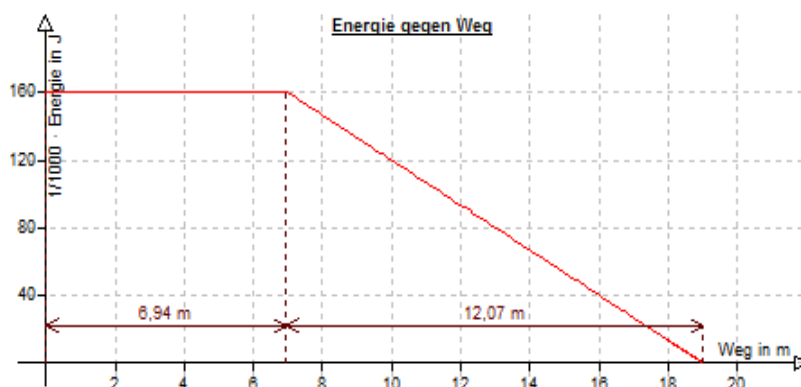


Abbildung 45: Variante 3 der Diagrammdarstellung der Inhaltskomponente „Anhalteweg“ in MV1. Als Reaktionszeit wurden 0,5 s gewählt.

Das Diagramm dieser Variante (Abbildung 45) sieht ähnlich einfach aus, liegt aber weitestgehend weniger auf der Hand. Für die kinetische Energie in Abhängigkeit von v gilt:

$$W_{kin}(v) = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Um die Rechnung abzukürzen, können wir direkt das Ergebnis der Berechnung von Variante 1 einsetzen:

$$v(s) = \sqrt{v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s} \Rightarrow W(s) = \frac{1}{2} m (v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s)$$

Da also die W_{kin} von v quadratisch, v von s aber mit der Wurzel abhängig ist, besteht insgesamt wieder eine lineare Abhängigkeit $W_{kin}(s)$.

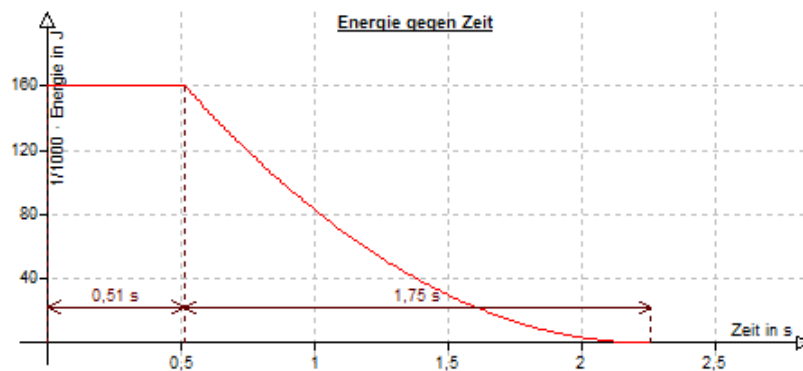
Diagrammvariante 4:

Abbildung 46: Variante 4 der Diagrammdarstellung der Inhaltskomponente Anhalteweg in MV1. Als Reaktionszeit wurden 0,5 s gewählt.

Auch hier lässt sich der Rechenweg durch Einsetzen der in Variante 2 gewonnenen Gleichung wieder abkürzen:

$$\left. \begin{array}{l} W_{kin}(v) = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \\ v(t) = a \cdot t + v_0 \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{W(t) = \frac{1}{2} m \cdot (a \cdot t + v_0)^2}$$

Es besteht also eine quadratische Abhängigkeit für $W(t)$. Da wieder $a < 0$ und v_0 einen positiven Wert hat, ergibt sich (wie in Abbildung 46) die linke Hälfte einer Parabel.

Restgeschwindigkeit beim Aufprall:

Besonders interessant wird es, wenn die Möglichkeit genutzt wird, ein Hindernis aufzustellen, vor welchem das zweite Fahrzeug nicht zum Stehen kommt: Auch wenn eine relativ geringe Geschwindigkeitsdifferenz zwischen beiden Fahrzeugen gewählt wird, ergeben sich doch unverhältnismäßig große Aufprallgeschwindigkeiten.

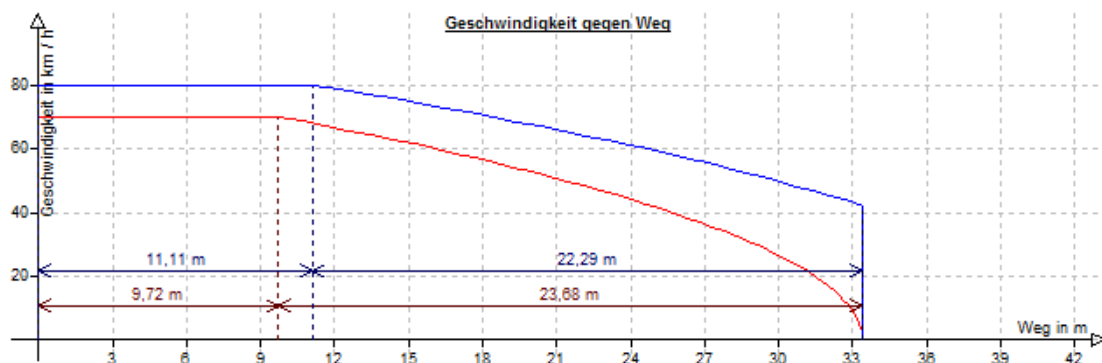


Abbildung 47: Aufprall in Komponente Anhalteweg in MV1. Die rote Kurve zeigt den Anhalteweg des ersten Fahrzeugs, das genau vor dem Hindernis zum Stehen kommt, die blaue gehört zu dem zweiten Fahrzeug, das auf das Hindernis aufprallt. Im hier gezeigten Beispiel betrug die Geschwindigkeitsdifferenz 10 km/h, die Aufprallgeschwindigkeit etwa 42 km/h.

Um sich dies plausibel zu machen, ist Diagrammvariante 1 recht gut geeignet. Wie in Abbildung 47 zu sehen ist, hat die erhöhte Geschwindigkeit zwei Folgen: Die Strecke für den Bremsvorgang ist verlängert, und die zur Verfügung stehende Strecke ist durch den verlängerten Reaktionsweg zusätzlich verkürzt. Hinzu kommt, dass die Wurzelfunktion mit steigender Geschwindigkeit immer flacher verläuft und über die gleiche Strecke immer weniger Geschwindigkeit abgebaut werden kann.

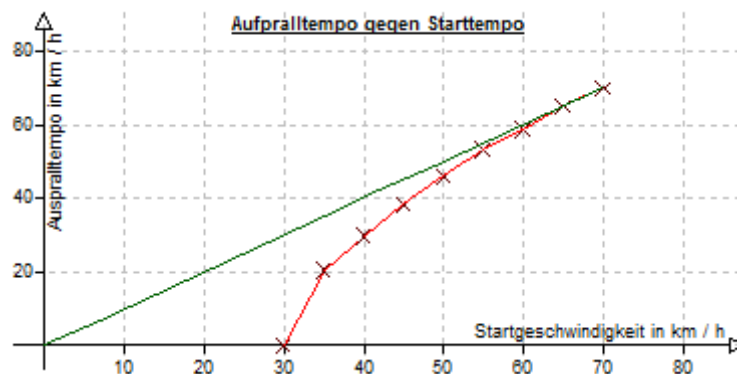


Abbildung 48: Optionales Zusatzdiagramm 1 in Komponente Anhalteweg in MV1. Jedes Aufprallergebnis wird mit einem Punkt markiert, die Punkte durch eine rote Linie verbunden. Wo die Punkte auf der grünen Linie liegen, entspricht die Aufprallgeschwindigkeit der Ausgangsgeschwindigkeit. Das Fahrzeug schlägt dann ungebremst auf.

An dem erwähnten, optionalen Zusatzdiagramm, das in Abbildung 48 für das Beispiel einer Ausgangsgeschwindigkeit von 30 km/h und einer Reaktionszeit von 0,5 s dargestellt ist, lässt sich das noch einmal verdeutlichen: Die rote Kurve, welche die Aufprallgeschwindigkeit gegen die Zeit aufträgt, verläuft zu Anfang sehr steil und konvergiert dann flacher werdend mit der grünen Kurve. Die Aufprallgeschwindigkeiten steigen also schon bei kleinen Geschwindigkeitsüberschreitungen sehr schnell an. Ab einer bestimmten Geschwindigkeit, hier etwa 65 km/h, schlägt das Fahrzeug ungebremst auf, da der Reaktionsweg länger ist als die zur Verfügung stehende Strecke. Dieser Punkt ist daher natürlich abhängig von der vorausgesetzten Reaktionszeit, bei 1 s liegt er im dargestellten Fall etwa bei 50 km/h.

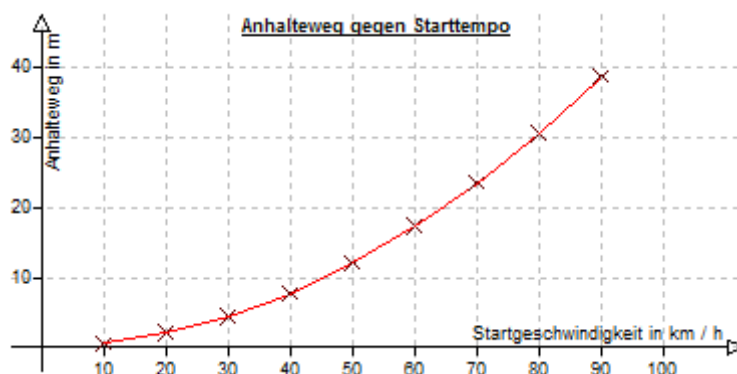


Abbildung 49: Optionales Zusatzdiagramm 2 in Komponente „Anhalteweg“ in MV1. Die Reaktionszeit wurde hier auf 0 gesetzt, um die Abhängigkeit des Bremsweges von der Geschwindigkeit darzustellen. Trotz der berücksichtigten Reibungseinflüsse lässt sich noch in guter Näherung ein quadratischer Kurvenverlauf erkennen.

Ein bekannteres Ergebnis liefert das optionale Zusatzdiagramm, wenn kein Hindernis verwendet wird. Dann zeigt das Diagramm eine Auftragung des Anhalteweges gegen die Ausgangsgeschwindigkeit. Setzt man auch noch die Reaktionszeit auf den Wert 0 (wie in Abbildung 49 zu sehen), erhält man direkt die Geschwindigkeitsabhängigkeit

des Bremsweges. Wie weiter oben bereits thematisiert, kann diese trotz berücksichtigter Reibungseinflüsse durchaus als quadratisch genähert werden.

Relative Anteile des Anhalteweges:

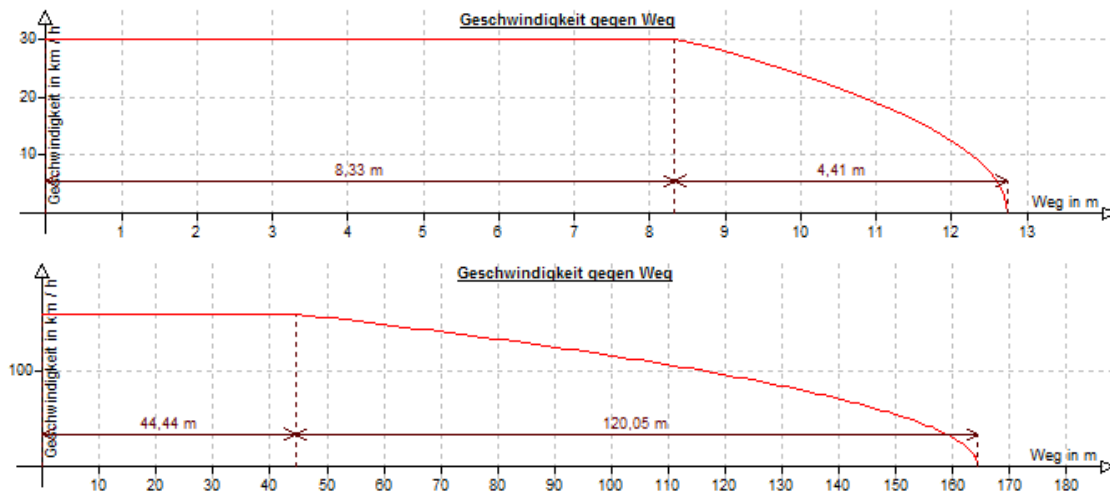


Abbildung 50: Relative Anteile am Anhalteweg. Im oberen Bild startet das Fahrzeug mit 30 km/h, im unteren mit 160 km/h, beide Male ist eine Reaktionszeit von 1 s vorausgesetzt. Durch die unterschiedlichen Abhängigkeiten wird der relative Anteil des Reaktionsweges am Anhalteweg mit zunehmender Geschwindigkeit immer kleiner, der des Bremsweges immer größer.

Interessant ist außerdem die Tatsache, dass die relativen Anteile von Reaktionsweg und Bremsweg am Anhalteweg sich mit der Geschwindigkeit verschieben: Da ersterer linear, letzterer etwa quadratisch von der Ausgangsgeschwindigkeit abhängt, wird der relative Anteil des Reaktionsweges am Anhalteweg mit steigender Geschwindigkeit immer kleiner, der des Bremsweges immer größer (siehe Abbildung 50).

ad) Verkehrspädagogischer Gehalt

Die wichtigste Leistung des Programms in verkehrspädagogischer Hinsicht besteht darin, Zusammenhänge, die im Prinzip aus der Fahrschule oder als Allgemeinwissen meist bekannt, aber abstrakt geblieben sind, in die Lebenswelt zu transportieren. Konkrete Beispiele für die Auswirkungen physikalischer Tatsachen scheinen für diesen Transfer besser geeignet, als das bloße Benennen der Tatsachen selbst.

Unter anderen folgende Erkenntnisse, die für die Sicherheit im Straßenverkehr von Bedeutung sein können, sind mit der Software anhand geeigneter Beispiele vermittelbar:

- Bereits geringe Überschreitungen einer zugelassenen Geschwindigkeit können unter exakt gleichen Bedingungen zu lebensbedrohlichen Aufprallgeschwindigkeiten führen. Dabei ist es eine bekannte Tatsache, dass etwa in geschlossenen Ortschaften Geschwindigkeiten von 60 bis 65 km/h statt 50 km/h die Regel sind, was auch von beinahe niemandem, Behörden eingeschlossen, ernsthaft als Problem angesehen wird. Trotzdem führt in einer Gefahrensituation, in der ein Fahrer mit 50 km/h und einer Reaktionszeit von 0,5 s rechtzeitig zum Stehen kommt, unter sonst gleichen Bedingungen mit 65 km/h zu einem Aufprall auf das Hindernis mit immerhin 45 km/h, die

zum Beispiel für ein angefahrenes Kind bereits mit großer Wahrscheinlichkeit tödliche Auswirkungen hat. Diese Tatsache ruft mit Regelmäßigkeit auch bei erfahrenen Fahrzeugführern großes Erstaunen hervor - die geschätzten Werte für die Restgeschwindigkeit liegen meist in der Größenordnung der Überschreitung.

- Da der relative Anteil des Reaktionsweges am Anhalteweg mit steigender Ausgangsgeschwindigkeit abnimmt, wird auch die Aufprallgeschwindigkeit bei höheren Geschwindigkeiten immer weniger durch die Reaktionszeit beeinflusst. Wer beispielsweise in einer Tempo-30-Zone unterwegs ist, kann durch erhöhte Aufmerksamkeit das Risiko eines Unfalls sowie dessen Auswirkungen noch deutlich reduzieren. Wer aber auf der Autobahn mit Tempo 180 km/h unterwegs ist, kann durch seine Reaktion dagegen kaum noch etwas zur Unfallvermeidung beitragen, da der Anhalteweg im Wesentlichen durch den Bremsweg bestimmt ist. Die häufig genannte Behauptung, wer schneller fährt ist auch aufmerksamer, ist also zumindest auf Autobahnen hinfällig. Ein Stau-Ende in der Kurve etwa kann bei sehr hohem Tempo selbst bei frühzeitigem Erkennen und guter Reaktion unausweichlich zum Verhängnis werden.
- Die Vorschriften der Straßenverkehrsordnung für die Sicherheitsabstände berücksichtigen nicht den Bremsweg, sondern nur den Reaktionsweg. Wie an der Faustregel „halber Tachoabstand“ deutlich wird, ist der vorgeschriebene Sicherheitsabstand linear abhängig von der Geschwindigkeit, kann sich also nur auf den Reaktionsweg beziehen. Berücksichtigt man die Einheit auf dem Tachometer eines Fahrzeugs (3,6 km/h entsprechen 1 m/s), so ergibt sich eine Reaktionszeit von 1,8 s, die durch den Sicherheitsabstand ermöglicht wird, vorausgesetzt, der Vordermann verfügt über eine vergleichbare Bremsanlage. Fährt das vorausfahrende Fahrzeug jedoch seinerseits auf ein stehendes Hindernis auf, reicht der Abstand nicht aus, um das Fahrzeug zum Stehen zu bringen. Dadurch wird deutlich, wie ungenügend die vorgeschriebenen Abstände ausgelegt sind, und wie wichtig es ist, zumindest diese einzuhalten.
- Durch die individuelle Berücksichtigung der Reaktionszeit des Lernenden, der technischen Daten des Fahrzeugs und zugelassenen und gefahrenen Geschwindigkeit wird Schutzbehauptungen, die vorausgesetzten Daten hätten für den Betroffenen keine Gültigkeit, der Boden entzogen. Dabei sollte herausgestellt werden, dass die beim Reaktionstest erreichten Zeiten²⁵ vorbereitete Reaktionszeiten sind, im realen Straßenverkehr aber eher 1 Sekunde, in komplexeren Verkehrssituationen oder bei Ablenkung auch 2 oder mehr Sekunden zu erwarten sind.

²⁵ In einigen der hier gezeigten Beispieldiagramme wurde eine Reaktionszeit von 0,5 s angenommen, in der Regel sind die Ergebnisse gerade jugendlicher Probanden noch besser.

b) Kurvenfahrt

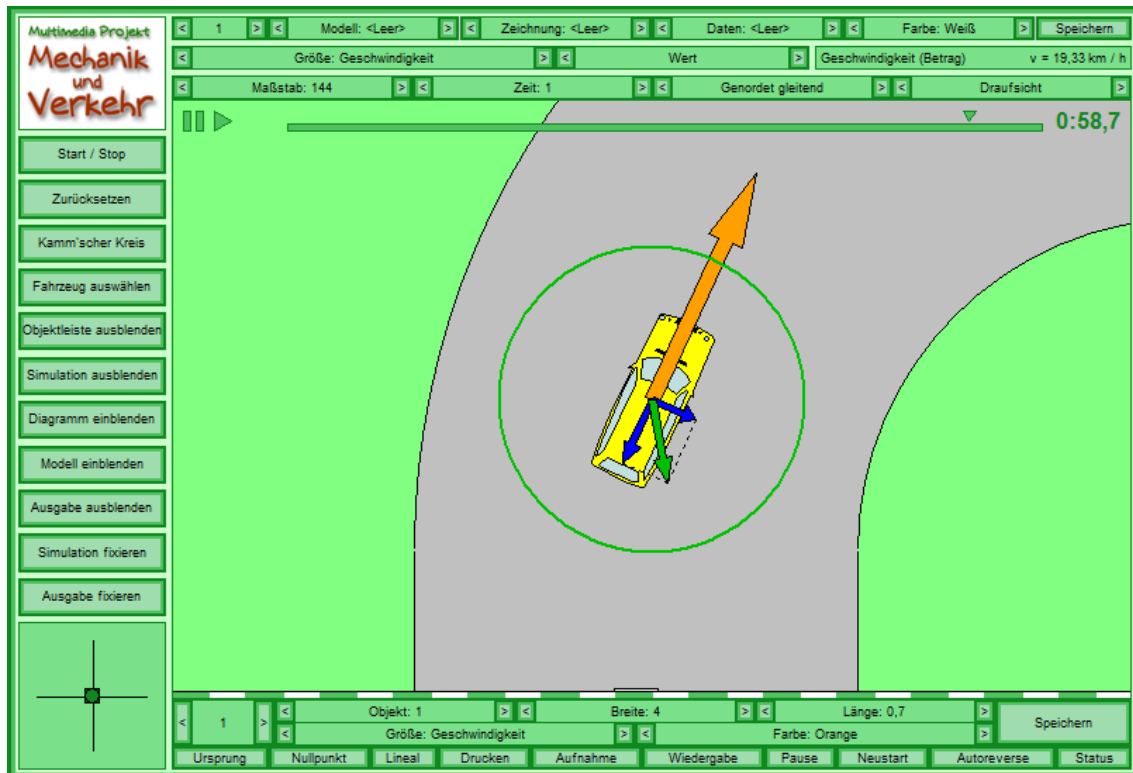


Abbildung 51: Inhaltskomponente „Kurvenfahrt“ in MV1. Mit Maus, Joystick oder Lenkrad mit Pedalen lässt sich ein Fahrzeug über einen vorgegebenen Parcours mit scharfen Kurven steuern. Der Kamm'sche Kreis visualisiert dabei die Haftgrenze, die vom angezeigten Vektor (grün) der Gesamtbeschleunigung nicht überschritten werden darf, sonst werden Vektor und Kreis rot und das Fahrzeug geht in den Gleitzustand über, wodurch es kaum noch lenkbar ist. Die Blauen Pfeile symbolisieren die Quer- und Längskomponenten der Beschleunigung, der orangefarbene die Geschwindigkeit.

ba) Inhaltliche Eingrenzung

Diese Inhaltskomponente beschäftigt sich in lebensweltlicher Hinsicht mit dem Verhalten von Fahrzeugen beim Beschleunigen und Bremsen und Lenken, insbesondere mit den Vorgängen bei der Kurvenfahrt. Eine Besonderheit ist dabei die Möglichkeit der spielerischen Steuerung des Fahrzeugs mit Lenkrad und Pedalen. Physikalisch werden sehr viele Bereiche tangiert, die wahlweise thematisiert werden können, insbesondere Kreisbewegungen (Zentripetalkraft), Haft- und Gleitreibung, sowie (als kontextspezifische Kombination aus beidem) der so genannte Kamm'sche Kreis.

bb) Ablauf und Benutzung

Die Komponente kann in der Grundeinstellung verwendet werden wie ein Spiel. Zu sehen sind nur der Simulations- und der Interaktionsbereich. Das Szenario besteht aus einem Parcours von Straßen, die mit einem Fahrzeug befahren werden können, das mit Klick auf „Fahrzeugwahl“ im Interaktionsbereich ausgewählt wird (Abbildung 4).

Das Szenario wird standardmäßig aus der „Vogelperspektive“ gezeigt („Draufsicht“)²⁶. Zur Steuerung des Fahrzeugs über die Straßen gibt es folgende Möglichkeiten:

- Mit der *Steuerfläche* links unten. Die Mitte wird durch ein Quadrat markiert. Wird mit der Maus auf die Fläche geklickt, wird die Position relativ zum Mittelpunkt in die x- und y-Komponente zerlegt und diese durch entsprechende Vektorpfeile dargestellt. Die x-Komponente wird als Lenkradeinschlag, die y-Komponente je nach Richtung als Treten auf das Gas- oder das Bremspedal interpretiert.
- Mit einem *Joystick*. Handelsübliche Geräte werden meist über USB oder den Gameport an den Computer angeschlossen und müssen über einen entsprechenden Treiber in Windows® eingebunden und kalibriert werden. Das Programm erkennt selbstständig, wenn ein solches Eingabegerät angeschlossen ist. Die Steuerfläche verschwindet dann und wird durch ein Joystick-Symbol ersetzt, Bewegungen des Joysticks werden dann analog zum Klick auf die Steuerfläche interpretiert.
- Mit *Lenkrad und Pedalen*. Solche Geräte werden von Windows® genauso behandelt wie Joysticks und werden daher auch vom Programm gleichermaßen erkannt. Die Steuerung eines Fahrzeugs gestaltet sich damit natürlich ungleich intuitiver. Leider scheint es auf dem Markt keine Geräte mit Kupplungspedal und Schalthebel zu geben, Schaltvorgänge müssen daher mit kleinen Tasten am Lenkrad durchgeführt werden, wie dies bei Rennfahrzeugen üblich ist.

Gestartet und angehalten sowie auf den Anfang zurückgesetzt wird die Fahrt entweder über Schalter im Interaktionsbereich, oder mit Buttons an den Eingabegeräten.

Wird die Straße verlassen, wird die Bodenhaftung drastisch reduziert (wie etwa auf einer Wiese oder einem Schotterweg), sodass nur noch sehr vorsichtige Beschleunigungen und Lenkbewegungen möglich sind. Eine gute Hilfestellung bietet der Kamm'sche Kreis sowie einige zugehörige Vektoren (siehe unten), die über einen Schalter im Interaktionsbereich ein- und ausgeblendet werden können.

Eine Ausgabeliste am oberen Rand der Komponente gibt standardmäßig die aktuelle Geschwindigkeit aus. Gerade für diese Inhaltskomponente sind außerdem einige der generellen Interaktionsmöglichkeiten des Simulationsbereichs (siehe 2.3.1.2b) besonders interessant:

- Durch Einstellen des *Zoom*-Faktors (auch möglich über eine Joystick- oder Lenkradtaste) kann man sich jederzeit entscheiden, ob man gerade mehr Übersicht benötigt oder mehr Details sehen will.
- Verschiedene Kameraführungen bieten verschiedene Vorteile. Insbesondere die Ausrichtung der Darstellung in Fahrtrichtung (mit dem Fahrzeug in Bildmitte)

²⁶ Unter „Vogelperspektive“ und „Draufsicht“ (synonym verwendet) wird in der Software MV1 die Blickrichtung von oben senkrecht nach unten verstanden.

ist zum Lenken besonders geeignet. Außerdem gibt es verschiedene genordnete Darstellungen, die entweder

- stets so dem Fahrzeug folgen, dass es sich in Bildmitte befindet,
 - oder gar nicht automatisch nachführen. Dann kann der Benutzer mit der Maus in die Simulation greifen und den Bildausschnitt selbst verschieben.
- Die Aufnahme- und Wiedergabefunktionen sind sehr nützlich, um eine durchgeführte Fahrt anschließend in Ruhe auszuwerten. Dabei kann zum Beispiel auch die Kameraführung oder der Darstellungsmaßstab geändert werden, da für die Analyse andere Aspekte wichtig sein können als für die Fahrt selbst.
 - Dabei kann es auch sinnvoll sein, bei der Wiedergabe einen anderen Zeitfaktor zu wählen - beispielsweise einen verlangsamen Ablauf, um Vektorpfeile besser beobachten zu können.

bc) Physikalischer Gehalt

Was über den Bremsvorgang gesagt wurde, gilt hier in besonderer Weise: Das Verhalten eines Fahrzeugs in einer Kurve ist ein hochkomplexer Vorgang, der unzähligen Einflüssen unterliegt. Um wirklich realitätsnah eine Kurvenfahrt zu simulieren, müssen alle drei Dimensionen betrachtet werden. Das Fahrzeug kann auch nicht mehr als Punktmasse betrachtet werden, sondern muss als aus vielen schwingungsfähigen Systemen (Reifen, Stoßdämpfer, bewegliche oder biegsame Teile) mit jeweils mehreren Freiheitsgraden zusammengesetzt verstanden werden, und auch das System Reifen - Straße muss sehr differenziert betrachtet werden. Unterschiedliche Profile und Drücke der Reifen, unterschiedliche Straßenbeschaffenheit an den Auflagestellen, unterschiedliche und sich ändernde Belastungen der einzelnen Räder durch Schwerpunktverlagerungen oder Schwingungen einzelner Teilsysteme, inhomogene Massenverteilung durch Insassen und Ladung - dies sind nur einige Beispiele für möglicherweise relevante Faktoren. Zur Herstellung aktiver Fahr- und Bremsassistenten (wie etwa ESP), für wirklich realitätsnahe Simulatoren, oder auch in der Forschung sind derart ausgefeilte Modelle nicht ungewöhnlich. Für die Schule überschreiten sie freilich jedes Maß. Ein zu simples Modell liefert hingegen mitunter bereits auf den ersten Blick offensichtlich unrealistische Ergebnisse.

Das Modell, das in diesem Programm standardmäßig verwendet wird (siehe Abbildung 53), stellt somit einen Kompromiss dar. Es orientiert sich an gängigen Vereinfachungen aus der Verkehrssicherheitsarbeit und wurde zusammen mit einigen motivierten Schülern während einer experimentellen Unterrichtsphase so weit verfeinert, dass diese mit der Simulation einigermaßen zufrieden waren, ohne schon den Überblick zu verlieren. Die physikalischen Implikationen werden im Folgenden kurz dargestellt.

- Geschwindigkeitsbetrag und Richtung werden als getrennte Größe behandelt. Das Fahrzeug kann in seiner definierten Richtung durch die Motorkraft (berechnet in einem Untermodell, siehe Abschnitt c) beschleunigt werden.
- Wie bei der Komponente „Anhalteweg“ kann das Fahrzeug durch Bremse, Luftreibung und Rollreibung entgegen seiner Richtung beschleunigt werden, allerdings maximal bis zum Stillstand. Negative Geschwindigkeiten werden ausgeschlossen.
- Die Vermeidung einer Rückwärtsfahrt durch Bremsen ist der wesentliche Grund für die Größentrennung. Außerdem hätte das Fahrzeug bei Stillstand sonst keine definierte Richtung.
- Durch Einschlag des Lenkrades f_{lenk} wird das Fahrzeug bei Bewegung senkrecht zu seiner Richtung beschleunigt. Ist der minimale Kurvenradius R_{min} des Fahrzeugs bekannt, kann aus dem relativen Lenkradeinschlag f_{lenk} die erforderliche Zentripetalbeschleunigung F_Z berechnet werden:

$$F_Z = m \cdot \frac{v^2}{R_{min}} \Rightarrow F_{quer} = f_{lenk} \cdot F_Z$$

- Vorwärts- und Rückwärtsbeschleunigung bilden zusammen die Längsbeschleunigung. Die vektorielle Summe mit der Querbeschleunigung ergibt die Gesamtbeschleunigung des Fahrzeugs.
- Die Beschleunigung des Fahrzeugs in jedweder Richtung (in der Ebene) ist nur möglich durch Impulsübertragung über die Reifen auf die Straße. Hierfür ist es (sehr vereinfacht) sinnvoll, wenn der Reifen auf der Straße haftet. Gleitet er, ist kaum ein Impulsübertrag möglich.

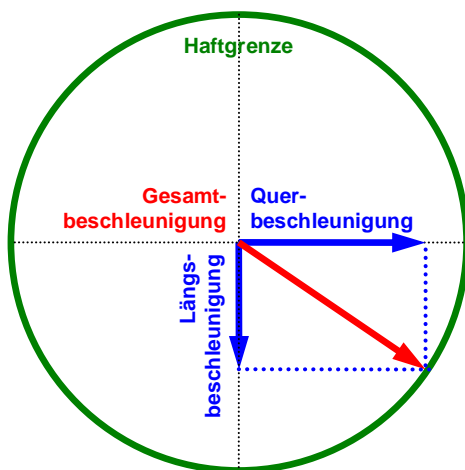
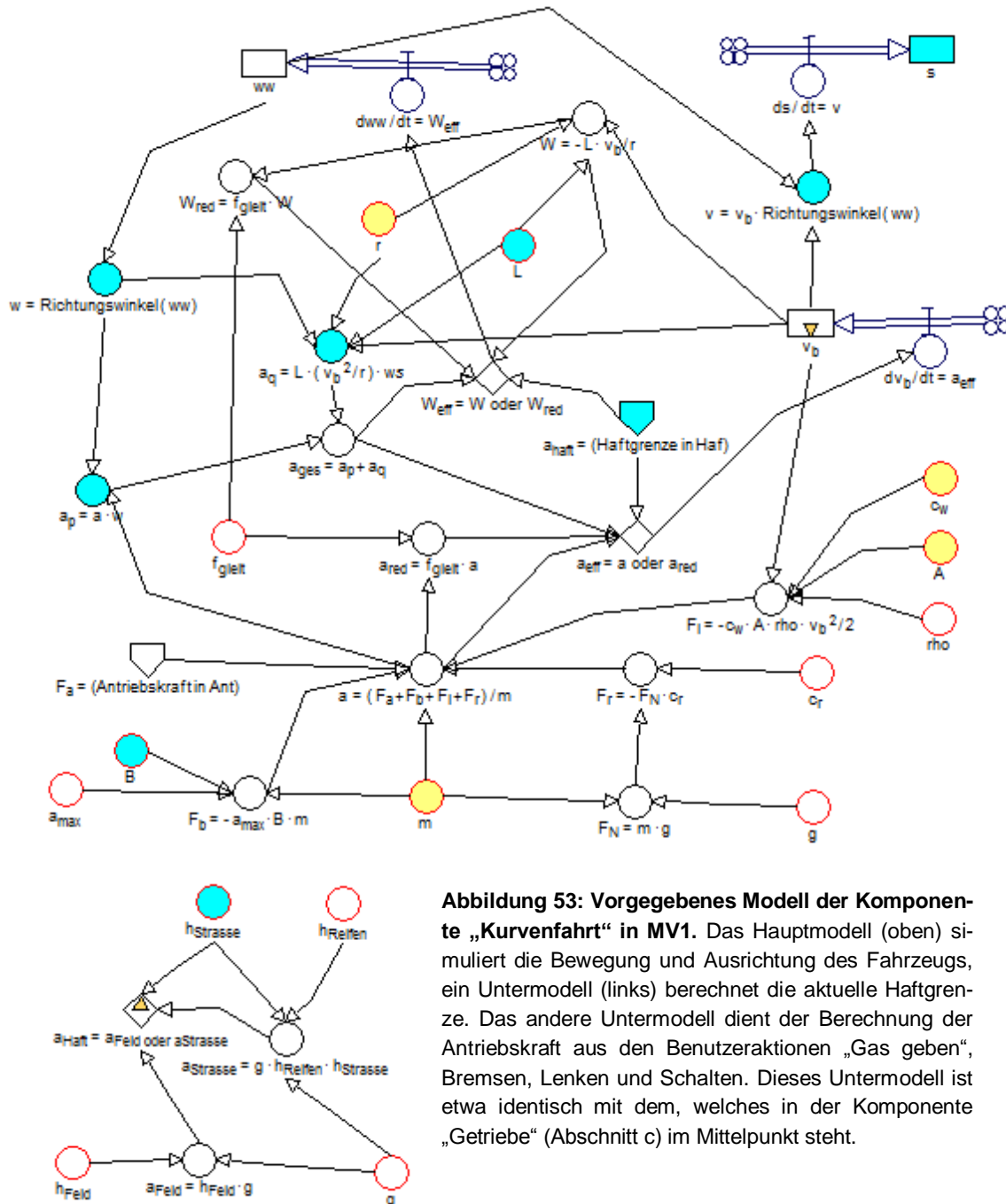


Abbildung 52: Kamm'scher Kreis. Ein vereinfachtes Modell zur Veranschaulichung der Zusammensetzung der wirksamen Beschleunigung bei einer Kurvenfahrt sowie deren Grenzwert aufgrund der maximalen Reifenhaftung. Die beiden blauen Pfeile symbolisieren die Beschleunigungskomponenten in Querrichtung (durch Lenken) und in Längsrichtung (nach unten - wie hier - durch Bremsen, nach oben durch den Antrieb). Der rote Pfeil symbolisiert die vektorielle Summe beider Beschleunigungen, welche den Kreis nicht überschreiten kann. Der Kreis entspricht der Haftgrenze, also der maximal durch die Reifen auf die Straße übertragbaren Beschleunigung.

- Es gibt eine maximale Beschleunigung, die auf diese Weise erzielt werden kann. Dieser Wert wird Haftgrenze genannt. Die Gesamtbeschleunigung kann die Haftgrenze nicht überschreiten.

- Die Haftgrenze wird in allen Richtungen als gleich angenommen, wodurch sich bei der Darstellung mit Vektorpfeilen ein Kreis ergibt. Dieser „Kamm’sche Kreis“²⁷ stellt ein sehr geläufiges Anschauungsmodell dar und ist in Abbildung 52 dargestellt.



²⁷ Der Kamm’sche Kreis ist benannt nach seinem Erfinder, Prof. Dr. Wunibald Kamm, Gründer und von 1930 bis 1945 Ordinarius des Forschungsinstitutes für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren an der TH Stuttgart. Als solcher arbeitete er unter anderem an der Weiterentwicklung von Fahrzeug- und Flugmotoren und an der Messung und Optimierung aerodynamischer Eigenschaften von Kraftfahrzeugen. Der Kamm’sche Kreis ist heute ein beliebtes Erklärungsmodell in der Verkehrssicherheitsarbeit.

Dieses einfache Modell erlaubt bereits ein relativ überzeugendes Verhalten des Fahrzeugs. Einige reale Phänomene wie das Ausbrechen des Hecks bei übersteuernden Fahrzeugen oder das Umkippen von Fahrzeugen mit hoch liegendem Schwerpunkt simuliert es jedoch nicht. Insbesondere folgende elementaren physikalischen Erkenntnisse lassen sich im Zusammenhang mit dieser Komponente vermitteln:

- Geschwindigkeit und Beschleunigung sind vektorielle Größen. Positive und negative Werte entsprechen nur verschiedenen Richtungen.
- Beschleunigen, Bremsen und Lenken sind physikalisch gesehen (hinsichtlich der Auswirkungen auf den Bewegungszustand einer Masse) Spezialfälle einer Größe, welche der zeitlichen Änderung des Geschwindigkeitsvektors entspricht.
- Für eine Bewegung auf einem Kreis oder in einer Kurve ist eine permanente Beschleunigung zum Kurvenmittelpunkt hin notwendig.
- Diese Zentralkraft wächst quadratisch mit der Bahngeschwindigkeit.
- Beim Kraftfahrzeug erfolgt jede Art von aktiver Beschleunigung ausschließlich über die Haftung der Reifen auf der Straße, welche eine Obergrenze besitzt.

Anmerkung: Statt die Beschleunigungen in den Mittelpunkt zu rücken, könnte man natürlich auch die entsprechenden Kräfte verwenden. Da es stets um eine Beschleunigung der Fahrzeugmasse geht, die in diesem Modell konstant bleibt, macht es hinsichtlich der Verhältnisse keinen Unterschied. Wichtig erscheint nur, eine Begründungsstrategie konsequent zu verfolgen.

bd) Verkehrspädagogischer Gehalt

- Es scheint ein gängiges Bild zu sein, dass das Fahrzeug natürlicherweise dem Verlauf der Fahrbahn folgt, in der Kurve aber seltsame, nach außen wirkende Kräfte das Fahrzeug aus der Kurve heraustragen wollen. In Wahrheit ist aber eine große Kraft erforderlich, um das Fahrzeug in die Kurve zu zwingen.
- Diese Kraft ist um so größer, je enger die Kurve und desto höher die Geschwindigkeit ist, und sie kann nur durch einen Kraftschluss zwischen Reifen und Straße realisiert werden, für welche es eine Obergrenze gibt, die auch durch die raffiniertesten technischen Hilfsmittel nicht überwunden werden kann.
- Führt ein Fahrzeug mit so hoher Geschwindigkeit in einer Kurve, dass die Querschleunigung bereits nahe an der Haftgrenze liegt, kann bereits eine kleine erforderliche Betätigung der Bremse das Fahrzeug ins Rutschen bringen, da die Haftgrenze für die Gesamtbeschleunigung gilt.
- Es ist also sinnvoll, in unbekannte Kurven besonders langsam hineinzufahren, um nicht von einer hohen Querschleunigung aufgrund des Kurvenradius oder einer geringen Haftgrenze aufgrund eines schlechten Fahrbahnbelages überrascht zu werden. Befindet man sich erst in der Kurve, kann es zum Bremsen bereits zu spät sein.

c) Getriebe

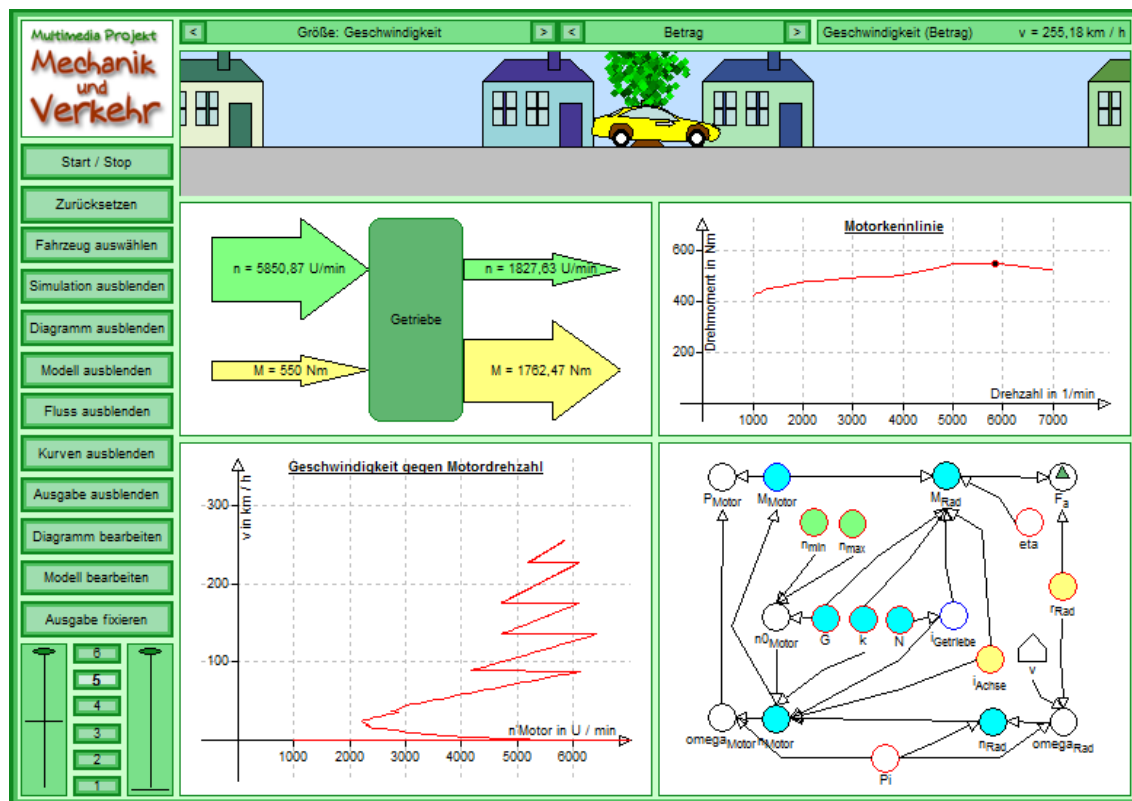


Abbildung 54: Inhaltskomponente „Getriebe“ in MV1. Mit dem Bedienfeld links unten kann der Anwender Gas geben (linker Schieber nach oben), bremsen (linker Schieber nach unten), kuppeln (rechter Schieber nach oben kuppelt ein) und schalten (durch Schalter in der Mitte wird der Gang gewählt). Oben ist ein fahrendes Fahrzeug zu sehen, darunter links Drehzahl und Drehmoment auf der Antriebs- und Abtriebsseite, rechts daneben die Motorkennlinie mit einer Markierung des aktuellen Zustandes, rechts unten das Modell und links daneben ein Diagramm.

ca) Inhaltliche Eingrenzung

In dieser Inhaltskomponente geht es um den Antrieb von Fahrzeugen, einschließlich Motor und Getriebe. Den Schwerpunkt bilden dabei nicht technische Details des Aufbaus und der Konstruktion, sondern die wechselseitige Beeinflussung aller technischen Einheiten, das Verständnis der Notwendigkeit eines Getriebes als Drehmomentwandler, sowie der Einfluss technischer Charakteristika auf das Fahrverhalten eines Fahrzeugs. Ganz nebenbei können dabei auch noch wichtige Bedienungselemente eines Fahrzeugs in ihrer Funktionsweise kennen gelernt werden.

cb) Ablauf und Benutzung

Im Simulationsbereich am oberen Rand ist ein Fahrzeug zu sehen, das geradlinig an einer Häuserzeile entlang fahren kann. Hindernisse, die ein Anhalten erforderlich machen würden, sind hier nicht vorgesehen. Ist das Fahrzeug am Ende der Häuserzeile angekommen, wird es übergangslos wieder an den Anfang gesetzt.

Gestartet wird die Simulation wie beschrieben mit dem entsprechenden Schalter im Interaktionsbereich. Gesteuert wird das simulierte Fahrzeug durch ein spezielles Steuerungselement links unten: Der linke Regler dient zum „Gas geben“ (obere Hälfte) und Bremsen (untere Hälfte), die Schalter in der Mitte dienen zu Wahl der Schaltstufe (Gang) und der rechte Regler ermöglicht das Ein- (oben) und Auskuppeln (unten). Eine Lenkung ist hier nicht vorgesehen, das Fahrzeug fährt stets geradeaus. Das Fahrzeug kann - wie in den beiden zuvor vorgestellten Inhaltskomponenten - durch Klick auf „Fahrzeugwahl“ aus einem Angebot mehrerer Fahrzeuge ausgewählt werden.

Im Diagramm oberhalb des Modells wird die Motorkennlinie des ausgewählten Fahrzeugs angezeigt. Durch einen Punkt wird die Stelle markiert, die der aktuellen Drehzahl entspricht. Links daneben wird in einer Art Flussdiagramm die Umwandlung von Drehzahl und Drehmoment verdeutlicht: Die linke Seite entspricht der Antriebs-, die rechte der Abtriebsseite, in der Mitte findet im Getriebe die Wandlung statt. Die Größe der einzelnen Werte wird durch die Breite der entsprechenden Pfeile dargestellt. Das Diagramm links unten ist frei konfigurierbar und zeigt standardmäßig die Geschwindigkeit aufgetragen gegen die Motordrehzahl.

cc) Physikalisch technischer Gehalt

Verbrennungsmotoren, wie sie in gängigen Kraftfahrzeugen heute (noch) verwendet werden²⁸, besitzen einen eingeschränkten Drehzahlbereich, welcher in der Regel etwa zwischen 1000 und 6000 Umdrehungen pro Minute liegt. Das Drehmoment M_{Motor} , das der Motor an der Antriebswelle erzeugt, ist prinzipbedingt abhängig von der aktuellen Drehzahl n_{Motor} . Diese Abhängigkeit lässt sich allerdings nicht durch eine einfache Formel berechnen, sondern ist von den baulichen Spezifika des Motors abhängig und nur messtechnisch auf speziellen Motorprüfständen ermittelbar. Das Ergebnis ist eine so genannte *Motorkennlinie*, wie sie in Abbildung 55 (linke Seite, rote Kurve) zu sehen ist. In aller Regel besitzen diese Kennlinien ein eindeutiges Maximum und fallen zu den Randbereichen hin immer stärker ab.

Die Drehzahlabhängigkeit wirkt sich auch auf die Leistung aus - die momentane Motorleistung ergibt sich durch das Produkt aus Winkelgeschwindigkeit und Drehmoment:

$$P_{\text{Motor}} = M_{\text{Motor}} \cdot \omega_{\text{Motor}} = M_{\text{Motor}} \cdot 2\pi \cdot n_{\text{Motor}}$$

Somit ergibt sich aus der Motorkennlinie auch ein so genanntes Leistungsdiagramm, wie es ebenfalls in Abbildung 55 (linke Seite, blaue Kurve) zu sehen ist. Es besitzt ebenfalls ein eindeutiges Maximum, das gegenüber der Motorkennlinie aber nach zu höheren Drehzahlen hin verschoben ist. Die Fahrzeugleistung ist also keineswegs konstant, sondern ebenfalls in starkem Maße von der Motordrehzahl abhängig.

²⁸ Zurzeit scheinen aufgrund der knapper werdenden fossilen Brennstoffe Fahrzeuge auf dem Vormarsch zu sein, die (unter anderem) mit Elektromotoren angetrieben werden, die durch Brennstoffzellen mit Energie versorgt werden. Auf diese sind die Überlegungen dieses Abschnitts nicht anwendbar.

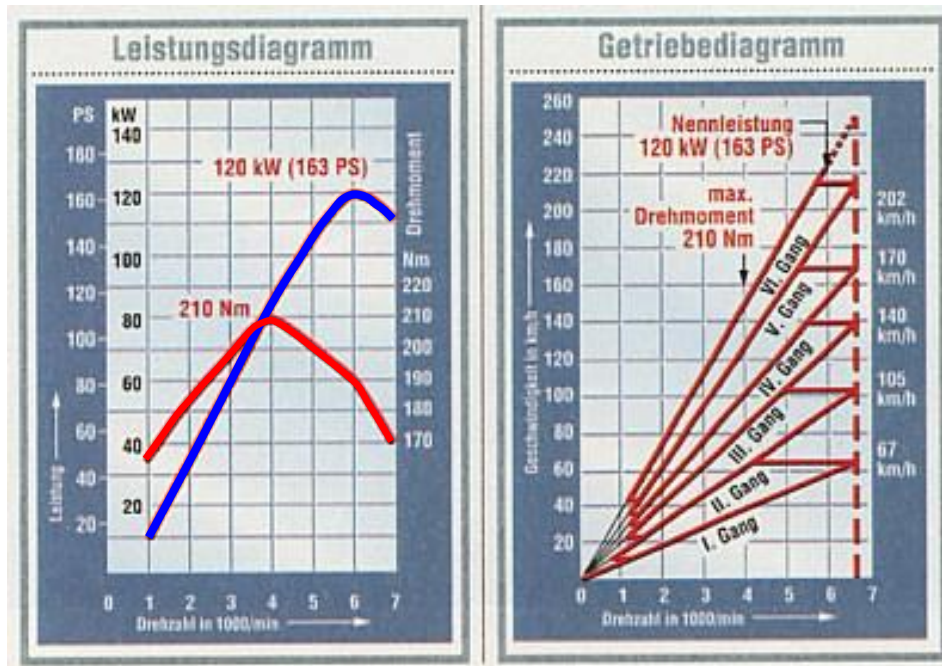


Abbildung 55: Motorkennlinien und Getriebediagramm des Mini Cooper S. Derartige Diagramme charakterisieren das Antriebsverhalten eines Fahrzeugs und werden messtechnisch auf speziellen Prüfständen ermittelt. Dieses stammt aus einem Textbericht in der Zeitschrift „Auto, Motor und Sport“, Ausgabe 11 / 2002.²⁹

Wenn nun eine bestimmte Translationsgeschwindigkeit v_{Trans} eines Fahrzeugs gegeben ist, so entspricht dieser Geschwindigkeit eine bestimmte Winkelgeschwindigkeit ω_{Rad} der Räder, die sich aus deren Radius r_{Rad} ergibt, was einer Drehzahl n_{Rad} entspricht:

$$\left. \begin{aligned} \omega_{Rad} &= \frac{v_{Trans}}{r_{Rad}} \\ n_{Rad} &= \frac{\omega_{Rad}}{2 \cdot \pi} \end{aligned} \right\} n_{Rad} = \frac{v_{Trans}}{2 \cdot \pi \cdot r_{Rad}}$$

Die Drehzahl der Räder ist also in Abhängigkeit von der Translationsgeschwindigkeit des Fahrzeugs gegeben. Um den Motor unter dieser Voraussetzung nahe seinem optimalen Drehzahlbereich zu betreiben, ist es also erforderlich, zwischen der Raddrehzahl und der Motordrehzahl zu vermitteln. Hierzu dient einerseits die so genannte *Achsübersetzung*, die ein konstantes Übersetzungsverhältnis i_{Achse} besitzt, und andererseits vor allem das Getriebe, das verschiedene Schaltstufen N mit verschiedenen Übersetzungsverhältnissen $i_{Getriebe}(N)$ zur Verfügung stellt:

$$n_{Motor} = n_{Rad} \cdot i_{Getriebe} \cdot i_{Achse}$$

Dieser Drehzahl entspricht aufgrund der Motorkennlinie ein mögliches Drehmoment M_{Motor} , das auf die rotierende Antriebsachse ausgeübt werden kann. Das Produkt aus

²⁹ Aufgrund der schlechten Qualität des Originals wurden die Kurven im linken Diagramm nachgezeichnet und dabei farbig unterschieden.

Drehzahl und Drehmoment ergibt also die Leistung an der Antriebsseite. Idealerweise (ohne Reibungsverluste) sollte diese Leistung an der Abtriebsseite erhalten bleiben. Da sich dort aber die Drehzahl ändert, muss sich auch das Drehmoment ändern:

$$M_{Motor} \cdot n_{Motor} = P_{Motor} = P_{Rad} = M_{Rad} \cdot n_{Rad}$$

Somit ergibt sich für das Drehmoment, das am Ende auf das Rad wirkt:

$$M_{Rad} = M_{Motor} \cdot i_{Getriebe} \cdot i_{Achse}$$

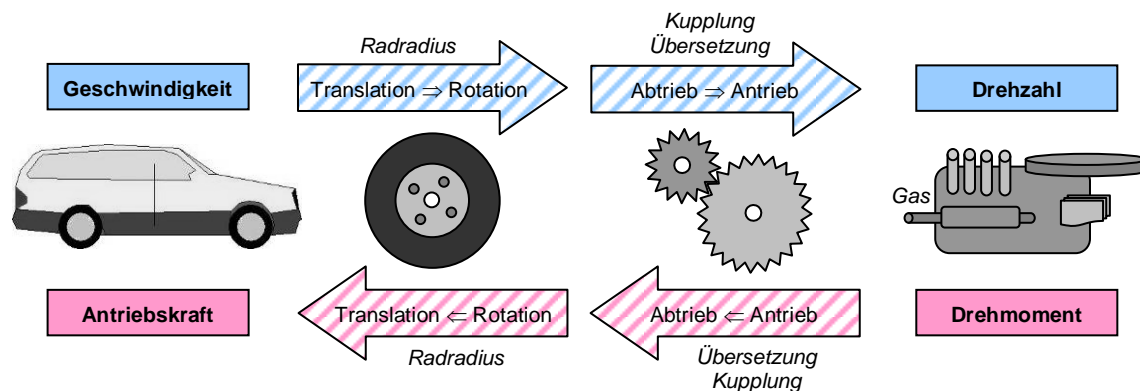


Abbildung 56: Wirkungskette Antrieb. Veranschaulichung der Wechselwirkungen zwischen Motor, Getriebe, Reifen und Fahrzeug. Die Translationsgeschwindigkeit bestimmt (vermittelt durch Reifen und Getriebe) die Drehzahl des Motors, daraus ergibt sich (aufgrund der Motorkennlinie) ein mögliches Drehmoment, dieses wirkt (wieder vermittelt durch Getriebe und Reifen) translativ beschleunigend. Die Pfeile geben an, in welcher Reihenfolge im Modell die Berechnungen durchgeführt werden.

So betrachtet ist das Getriebe also nichts anderes als eine Wandler von Drehzahl und Drehmoment, ähnlich wie ein Transformator ein Wandler von Spannung und Stromstärke ist, der bei (theoretisch) konstanter Leistung das Verhältnis der beiden Größen ändert. Diese Wandlung wird durch das Flussdiagramm dargestellt, das sich in der Komponente links oben befindet.

Ein wichtiges Glied fehlt nun noch in der Kette: Die Kupplung. Ohne diese wäre es mit einem Verbrennungsmotor nicht möglich, ein Fahrzeug aus dem Stillstand in Bewegung zu bringen, da der mögliche Drehzahlbereich erst weit oberhalb von 0 U/min beginnt. Durch eine kontinuierliche Änderung der Kopplung zwischen Motor und Getriebe kann sie beim Anfahren die wirkende Kraft langsam steigern und auch beim Wechsel der Gänge durch Synchronisation der Drehzahlen für reibungslose Übergänge sorgen.

In Abbildung 57 ist zu sehen, wie diese Zusammenhänge im Standardmodell dieser Komponente umgesetzt wurden. Auffällig ist, dass in dem Modell keine Zustandsgrößen vorkommen³⁰. Das liegt daran, dass es sich um ein Untermodell handelt: Die Translationsbewegung des Fahrzeugs wird im Hauptmodell berechnet, daher ist die Geschwindigkeit als Zustandsgröße dort vorhanden und taucht hier nur als Referenz auf.

³⁰ Hier werden die unterschiedlichen Verwendungen des Begriffs der Zustandsgröße in der Physik und der in der Systemdynamik deutlich.

Das Hauptmodell referenziert seinerseits die in diesem Modell berechnete Antriebskraft. Die anderen für die Berechnung erforderlichen Größen - Schaltstufe, Stellung des Gaspedals, Stellung des Kupplungspedals - gehen auf Handlungen des Benutzers zurück und sind insofern exogene Größen.

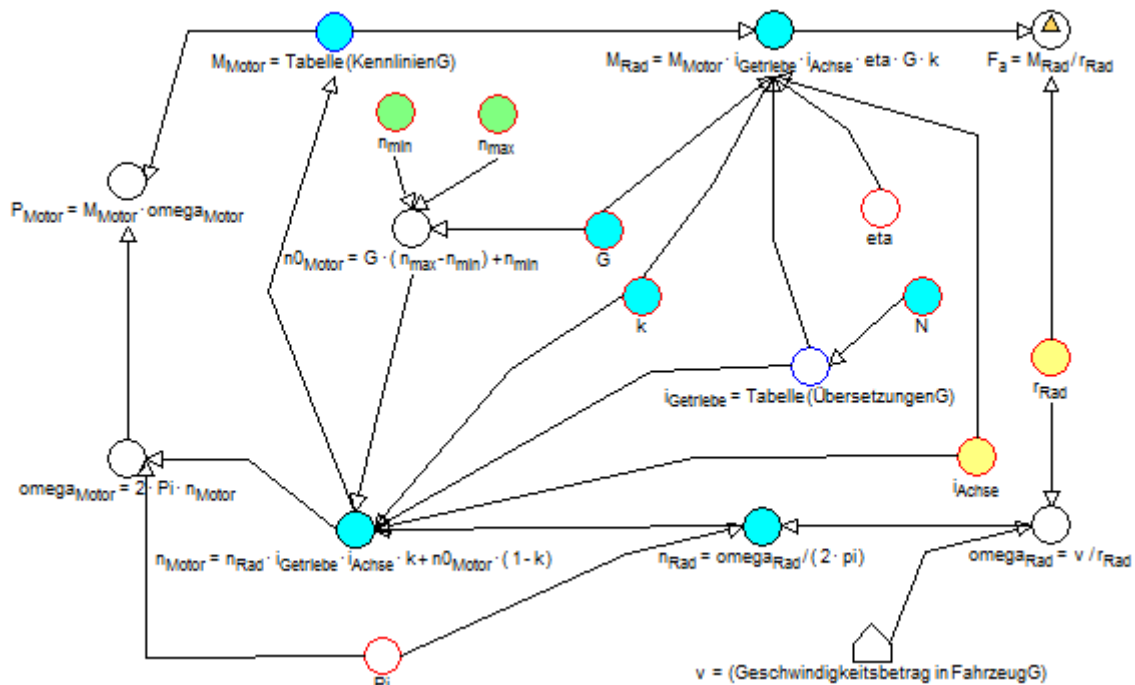


Abbildung 57: Antriebsmodell aus „Getriebe“ in MV1. Das Modell kommt als Untermodell selbst ohne Zustandsgrößen aus. Bestimmt wird der Zustand über die Geschwindigkeit, die aus dem Hauptmodell stammt, sowie die Zustände von Gas, Bremse, Kupplung und Schalthebel, welche exogene Größen sind.

Das Motordrehmoment in Abhängigkeit von der Drehzahl sowie die Übersetzung des Getriebes in Abhängigkeit von der Schaltstufe sind Tabellengrößen. Die entsprechenden Werte wurden - wie auch die restlichen charakteristischen Daten - für verschiedene Fahrzeuge aus Datenblättern in einschlägigen Fachzeitschriften entnommen, sind also tatsächlich realistisch. Interessant ist dabei, dass verschiedene dort angegebene, messtechnisch ermittelte Werte tatsächlich mit unter Verwendung des Modells ermittelten Ergebnissen übereinstimmen. Zum Beispiel:

- *Höchstgeschwindigkeit.* Bei Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit kompensiert die Antriebskraft im Wesentlichen die Luftreibung. Mit steigender Geschwindigkeit nimmt der Einfluss der Luftreibung quadratisch zu, daher steht ein immer geringerer Teil der Antriebskraft für eine Beschleunigung des Fahrzeugs zur Verfügung. Das Fahrzeug erreicht asymptotisch eine Grenzgeschwindigkeit, die mit den Angaben in den Datenblättern erstaunlich gut übereinstimmt.
- *Getriebediagramme.* In den Datenblättern sind häufig auch so genannte Getriebediagramme abgebildet, in denen für die verschiedenen Schaltstufen jeweils die Geschwindigkeit gegen die Motordrehzahl aufgetragen ist. Abbildung 55 zeigt auf der rechten Seite ein solches Diagramm. Führt man mit der Komponente eine Beschleu-

nigungsfahrt durch und lässt dabei im Diagramm links unten ebenfalls Geschwindigkeit gegen Drehzahl auftragen, erhält man ein Ergebnis wie in Abbildung 58. Auch diese Diagramme stimmen sehr gut überein.

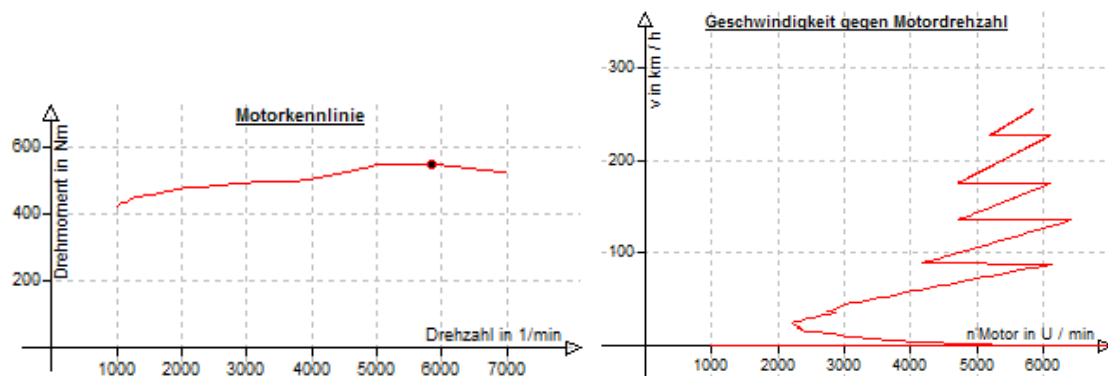


Abbildung 58: Motorkennlinie und Getriebediagramm in MV1. Links ist eine Darstellung der Motorkennlinie aus der Inhaltskomponente abgebildet. Die Daten stehen über eine Tabellengröße zur Verfügung und wurden von einer realen Messkurve abgelesen. Das Getriebediagramm rechts ergibt sich, wenn die Geschwindigkeit gegen die Motordrehzahl aufgetragen wird und das Fahrzeug vom Stillstand bis zu seiner Höchstgeschwindigkeit beschleunigt wird. Die beiden Abbildungen sind Auszüge aus dem Screenshot in Abbildung 54.

cd) Lebensweltlicher Bezug

Ein großer Teil der Schüler beginnt innerhalb der Jahrgangsstufe 11 mit der Fahrschul-ausbildung. Die ersten Stunden sind erfahrungsgemäß geprägt von Problemen mit dem Kuppeln, Schalten und Anfahren. Etwas mehr über die Funktionsweise und vor allem die Bedeutung des Getriebes innerhalb des Fahrzeugs zu wissen, sollte beim theoretischen Erschließen der richtigen Verhaltensmuster hilfreich sein. Die praktischen Erfahrungen lassen sich damit natürlich nicht vorwegnehmen, vermutlich sind die Schüler so aber etwas besser darauf vorbereitet.

d) Stoßdämpfer

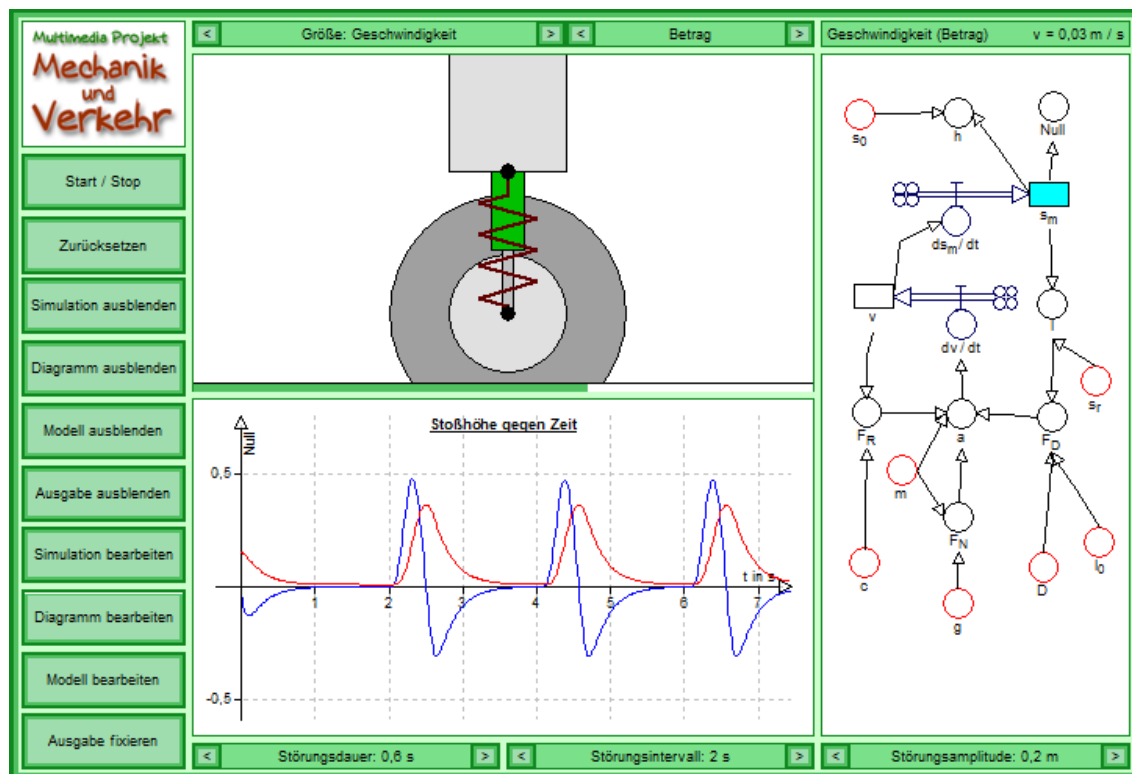


Abbildung 59: Inhaltskomponente „Stoßdämpfer“ in MV1. Zu sehen ist ein Stoßdämpfer einschließlich Rad auf einem Prüfstand. Es werden regelmäßige, sinusförmige Stöße auf das Rad ausgeübt, die in den Eingabefeldern ganz unten konfiguriert werden können.

da) Inhaltliche Eingrenzung

Diese Inhaltskomponente thematisiert die so genannten Stoßdämpfer, die jedes Fahrzeug besitzen muss, um seine Bodenhaftung nicht zu verlieren. Physikalisch geht es dabei um idealisierte gedämpfte harmonische Schwingungen.

db) Ablauf und Benutzung

Der Simulationsbereich oben zeigt einen Stoßdämpfer auf einem virtuellen Prüfstand. Am unteren Ende des Stoßdämpfers ist ein Rad befestigt, das in regelmäßigen Intervallen sinusförmigen Stößen³¹ ausgesetzt ist, die durch Unebenheiten in einer Fahrbahn verursacht werden könnten. An seinem oberen Ende ist eine Probemasse befestigt, die ihn genauso belastet und sich ähnlich verhält, wie ein Fahrzeug das tun könnte.

Ganz unten befindet sich eine Eingabeleiste, mit welcher der Anwender die erzeugten Stöße konfigurieren kann: Es kann mit Störungsdauer und Störungsamplitu-

³¹ Um einen kantenfreien Kurvenverlauf zu erhalten, wurde jeweils eine komplette Periode für einen Stoß verwendet. Ein Stoß beginnt und endet bei jeweils einem Minimum der Sinusfunktion, nicht bei der Nulllinie der Funktion (siehe Abbildung 60).

de die Höhe und Breite der einzelnen Stöße bestimmen, sowie mit Störungsintervall den zeitlichen Abstand zwischen zwei Maxima (siehe Abbildung 60).

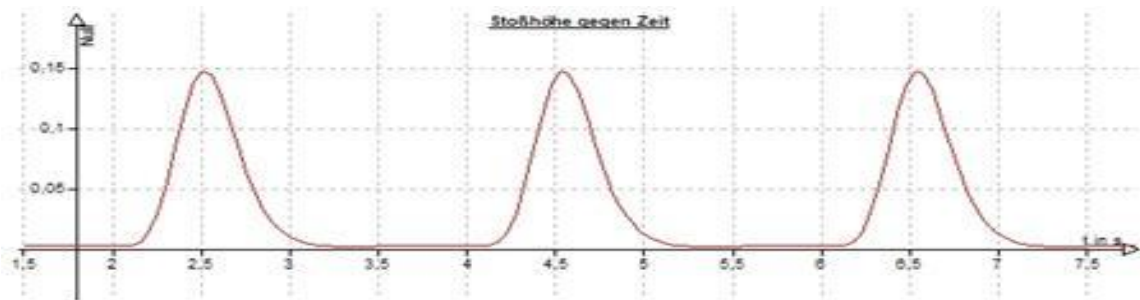


Abbildung 60: Form der Störungen in Komponente „Stoßdämpfer“ in MV1. Die Störungen werden konfiguriert durch die Angabe von Störungsamplitude, Störungsdauer und Störungsintervall.

Ein einzelner Stoß hat die Form einer vollständigen Sinusschwingung. Dies ermöglicht einen reibungslosen Start und ein reibungsloses Ende, wie es bei einer realen, vom Reifen bereits geglätteten Unebenheit in der Fahrbahn ebenfalls gegeben wäre.

Wie üblich wird die Simulation gestartet, angehalten und zurückgesetzt durch entsprechende Schalter im Interaktionsbereich.

dc) Physikalischer Gehalt

Das System Stoßdämpfer - Masse (hier die Probemasse, in der Realität der entsprechende Teil des Fahrzeugs) kann als gedämpfter, harmonischer Oszillator im aperiodischen Grenzfall betrachtet werden. Dies wird nun zunächst analytisch gezeigt, wobei die beiden Bauteile nacheinander betrachtet werden.

Funktion der Feder

Die Masse ruht auf einer Feder, die durch die Normalkraft F_N kontrahiert wird.

$$F_N = -m \cdot g$$

Wird eine (ideale) Feder gegenüber ihrer (kräftefreien) Normallänge l_0 gedehnt oder gestaucht, übt sie nach dem Hooke'schen Gesetz eine rücktreibende Kraft F_D proportional zu ihrer Längenänderung mit der Federkonstanten D als Proportionalitätsfaktor aus:

$$F_D = -D \cdot (l - l_0)$$

In der Ruhelage ist die vektorielle Summe von Normalkraft und Federkraft gleich Null. Für die Länge l_R der Feder in der Ruhelage ergibt sich somit:

$$F_D + F_N = -D \cdot (l_R - l_0) - m \cdot g = 0 \Rightarrow l_R = l_0 - \frac{m \cdot g}{D}$$

Die Elongation y des Systems sei nun die Auslenkung der Masse aus dieser Ruhelage. Für die Gesamtkraft F auf die Masse ergibt sich dann:

$$F = m \cdot a = -D \cdot y \Rightarrow \ddot{y} + \frac{D}{m} \cdot y = 0$$

Damit liegt eine homogene Differentialgleichung zweiter Ordnung vor, ein sicheres Indiz für eine harmonische Schwingung. Die allgemeine Lösungsfunktion für Gleichungen dieses Typs lautet (in einer möglichen Schreibweise) immer:

$$y(t) = \hat{y} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Um die Kreisfrequenz ω zu bestimmen, muss die Lösungsfunktion zweimal nach der Zeit abgeleitet werden,

$$\dot{y}(t) = \hat{y} \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

$$\ddot{y}(t) = -\hat{y} \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

um sie dann in die Differentialgleichung einzusetzen:

$$-y \cdot \omega^2 + \frac{D}{m} \cdot y = 0 \Rightarrow \omega^2 = \frac{D}{m} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{D}{m}}$$

Die Masse führt also eine (bisher noch ungedämpfte) harmonische Schwingung aus mit folgender zeitabhängiger Elongation:

$$y(t) = \hat{y} \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{D}{m}} \cdot t\right)$$

Ein Blick auf die bereits gebildeten Ableitungen verrät außerdem, dass auch Geschwindigkeit $v = \dot{y}$ und Beschleunigung $a = \ddot{y}$ harmonische Schwingungen mit der gleichen Kreisfrequenz ω durchführen, allerdings v um $\pi/2$ (wegen \cos) und a (wegen $-\sin$) um π phasenverschoben (siehe Abbildung 61).



Abbildung 61: Ungedämpfte harmonische Schwingung. Gegenüber der Elongation (rot) ist die Geschwindigkeit (grün) um $\pi/2$ und die Beschleunigung (blau) um π phasenverschoben.

Eine Änderung der Federlänge, etwa durch eine Bodenwelle oder durch eine kurzfristige Schwerpunktverlagerung des Fahrzeugs beim Beschleunigen, Bremsen oder Lenken, wird somit in eine Schwingung überführt. Damit hat der Stoßdämpfer aber noch nicht seinen Zweck erfüllt. Es fehlt noch das zweite wichtige Element: der *Dämpfer*.

Funktion des Dämpfers

Der Dämpfer besteht aus einem Kolben, der sich in einer Flüssigkeit mit großer Viskosität bewegt, wodurch eine große Reibungskraft entsteht, die linear von der Geschwindigkeit abhängig ist:

$$\ddot{y} + c_R \cdot \dot{y} + \frac{D}{m} \cdot y = 0$$

Die Lösungsfunktion hierfür lautet allgemein:

$$y(t) = \hat{y} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot e^{-\beta \cdot t}$$

Die Parameter lassen sich wie zuvor durch zweimaliges Ableiten der allgemeinen Lösungsfunktion und Einsetzen in die Differentialgleichung ermitteln. Nach etwas längerer Rechnung ergibt sich für β :

$$\beta = \frac{c_R}{2 \cdot m} \pm \sqrt{\frac{c_R^2}{4 \cdot m^2} - \frac{D}{m}}$$

Was sich daraus für die Frequenz und somit für Elongation in Abhängigkeit von der Zeit ergibt, hängt von der Größe der Dämpfungskonstanten c_R im Verhältnis zur Federkonstanten D ab. Man kann drei verschiedene Fälle unterscheiden:

1. Der Schwingfall

Für eine hinreichend kleine Dämpfung mit

$$c_R^2 < 4 \cdot D \cdot m$$

ergibt die Wurzel einen imaginären Wert, da der Ausdruck darunter negativ wird. Es ergibt sich eine gedämpfte harmonische Schwingung mit der Frequenz:

$$\omega = \sqrt{\frac{D}{m} - \beta^2} = \sqrt{\frac{D}{m} - \frac{c_R^2}{4 \cdot m^2}}$$

Eingesetzt ergibt das insgesamt folgende Zeitabhängigkeit der Elongation:

$$y(t) = \hat{y} \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{D}{m} - \frac{c_R^2}{4 \cdot m^2}} \cdot t\right) \cdot e^{-\frac{c_R}{2 \cdot m} \cdot t}$$

Es handelt sich also noch um eine Schwingung im eigentlichen Sinne, da noch eine Periodizität vorhanden ist, die Frequenz ist aber anders als im dämpfungsfreien Fall und die Amplitude nimmt exponentiell ab:

$$\hat{y}(t) = \hat{y}_0 \cdot e^{-\frac{c_R}{2 \cdot m} \cdot t}$$

Diese Funktion bildet die Einhüllende der Schwingung, wie in Abbildung 62 zu sehen.

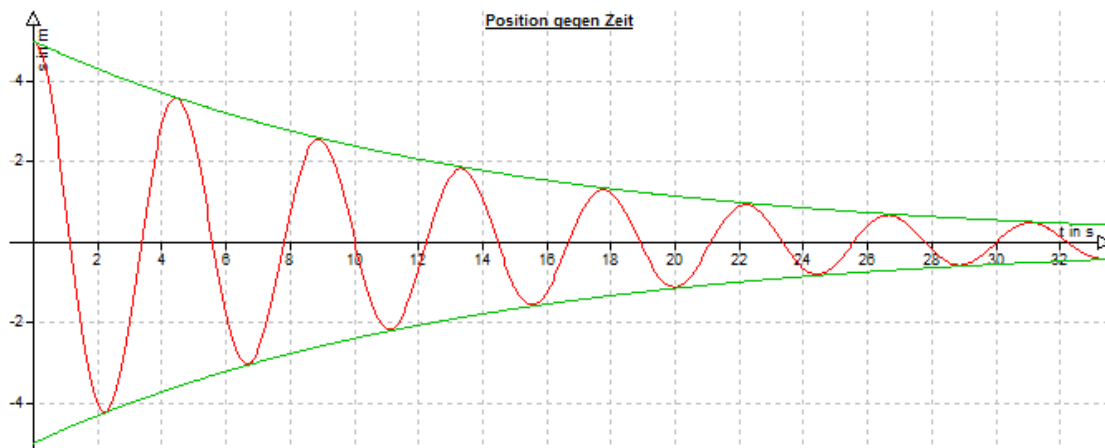


Abbildung 62: Gedämpfte harmonische Schwingung. In Rot ist die Elongation dargestellt, die grüne Kurve beschreibt die Einhüllende, welche den exponentiellen Abfall der Amplitude veranschaulicht.

2. Der Kriechfall

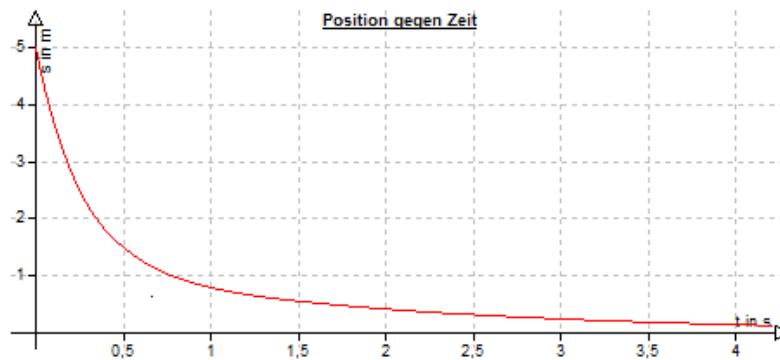


Abbildung 63: Der Kriechfall. Ist die Dämpfung sehr groß, kehrt das System nur sehr langsam und asymptotisch in die Ruhelage zurück.

Für eine sehr große Dämpfung mit

$$c_R^2 > 4 \cdot D \cdot m$$

liegt der so genannte Kriechfall vor. Unter der Wurzel steht dann ein positiver Term, für β ergeben sich damit zwei Lösungen:

$$\beta_1 = \frac{c_R}{2 \cdot m} - \sqrt{\frac{c_R^2}{4 \cdot m^2} - \frac{D}{m}} \quad \text{und} \quad \beta_2 = \frac{c_R}{2 \cdot m} + \sqrt{\frac{c_R^2}{4 \cdot m^2} - \frac{D}{m}}$$

Die allgemeine Lösung lautet somit:

$$y(t) = k_1 \cdot e^{-\beta_1 \cdot t} + k_2 \cdot e^{-\beta_2 \cdot t}$$

Die Konstanten k_1 und k_2 lassen sich bestimmen, indem man die Startbedingungen für den Zeitpunkt $t=0$ einsetzt:

$$\hat{y}_0 = k_1 + k_2 \quad \text{und} \quad v_0 = -k_1 \cdot \beta_1 - k_2 \cdot \beta_2$$

Am Ende ergibt sich insgesamt folgende Zeitabhängigkeit der Auslenkung:

$$y(t) = \frac{\hat{y}_0 \cdot \beta_2 + v_0}{\beta_2 - \beta_1} \cdot (e^{-\beta_1 \cdot t} - e^{-\beta_2 \cdot t})$$

Es findet also keine Schwingung mehr statt. Das System kehrt stattdessen langsam asymptotisch in den Ruhezustand zurück, wie in Abbildung 63 dargestellt.

3. Der aperiodische Grenzfall

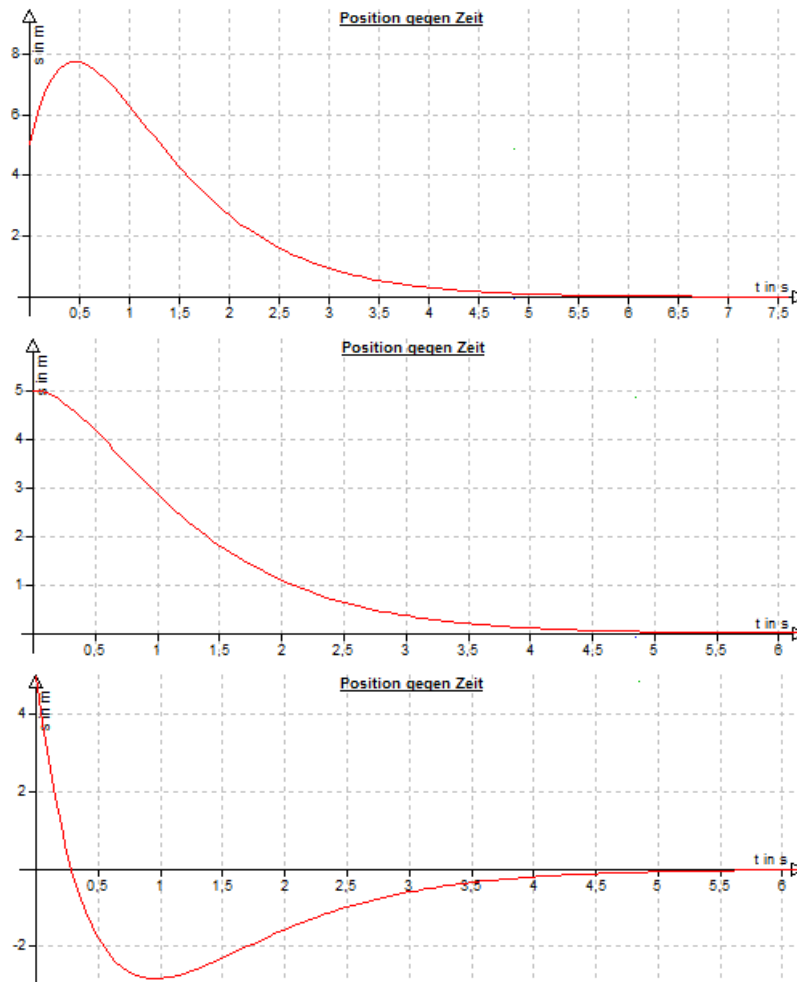


Abbildung 64: Der aperiodische Grenzfall. Die drei dargestellten Fälle unterscheiden sich ausschließlich durch die Startgeschwindigkeit v_0 : Oben ist $v_0 > 0$, in der Mitte ist $v_0 = 0$ und unten ist $v_0 < 0$. Masse, Federkonstante und Dämpfungskoeffizient sind in allen drei Fällen gleich.

Der aperiodische Grenzfall stellt genau den Übergang zwischen Schwingungsfall und Kriechfall dar. Er ist dann gegeben, wenn genau

$$c_R^2 = 4 \cdot D \cdot m$$

Die Wurzel wird dann gleich Null, für β ergibt sich damit:

$$\beta = \frac{c_R}{2 \cdot m}$$

Damit ergibt sich folgende Zeitabhängigkeit der Auslenkung:

$$y(t) = (\hat{y}_0 + v_0 \cdot t) \cdot e^{-\frac{c_R}{2 \cdot m} \cdot t}$$

Wie der Kurvenverlauf tatsächlich aussieht, hängt also von der Startgeschwindigkeit v_0 ab. Ist $v_0=0$, strebt die Funktion direkt asymptotisch gegen Null, das System kehrt schnellstmöglich in seine Ruhelage zurück. Ist $v_0 < 0$ kann es noch zu einem Richtungswechsel, sogar zum Überschreiten der t-Achse kommen, danach verhält es sich wie im zuvor beschriebenen Fall. In Abbildung 64 sind die drei Fälle als Zeitdiagramme dargestellt

Der aperiodische Grenzfall eines gedämpften, harmonischen Oszillators ist die schnellste Möglichkeit, ein System nach einer Störung wieder in seinen Gleichgewichtszustand zurückzusetzen. Da es genau das ist es, was der Stoßdämpfer leisten soll, ist dies die Konfiguration der Wahl.

Numerische Behandlung

Die numerische Lösung des Problems ist unvergleichlich einfacher. Das Modell in Abbildung 65 simuliert einen gedämpften harmonischen Oszillator mit der Masse m , Federkonstanten D und der Dämpfungskonstanten c_R . Auf die Masse wirken drei Kräfte: Die Normalkraft F_N , durch welche sie die Feder im Ruhezustand bereits kontrahiert, die rücktreibende Federkraft F_D und die Reibungskraft F_R . Dies entspricht genau der beschriebenen Anordnung beim Stoßdämpfer. In das Modell gehen nur die elementaren Zusammenhänge ein, trotzdem konnten alle in diesem Abschnitt gezeigten Diagramme damit unmittelbar und ohne weitere Rechnung erstellt werden.

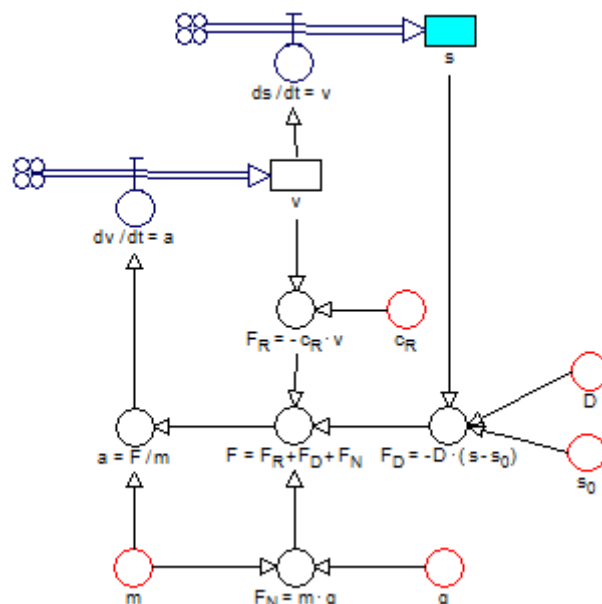


Abbildung 65: Modell einer gedämpften harmonischen Schwingung. Wie beim Stoßdämpfer gibt es drei wirkende Kräfte: Die Normalkraft F_N , welche die Feder im Ruhezustand kontrahiert, die rücktreibende Federkraft F_D und die Dämpfungskraft F_R . An der Position s_0 ist die Feder entspannt.

Es ist auch problemlos möglich, andere Größenkombinationen gegeneinander aufzutragen. Interessant ist beispielsweise ein Phasendiagramm der gedämpften Schwingung.

Da Auslenkung und Geschwindigkeit genau $\pi/2$ gegeneinander phasenverschoben sind, ergibt sich bei ihrer Auftragung gegeneinander im ungedämpften Fall eine Ellipse, im gedämpften, periodischen Fall ungefähr eine logarithmische Spirale, wie sie in Abbildung 66 zu sehen ist.

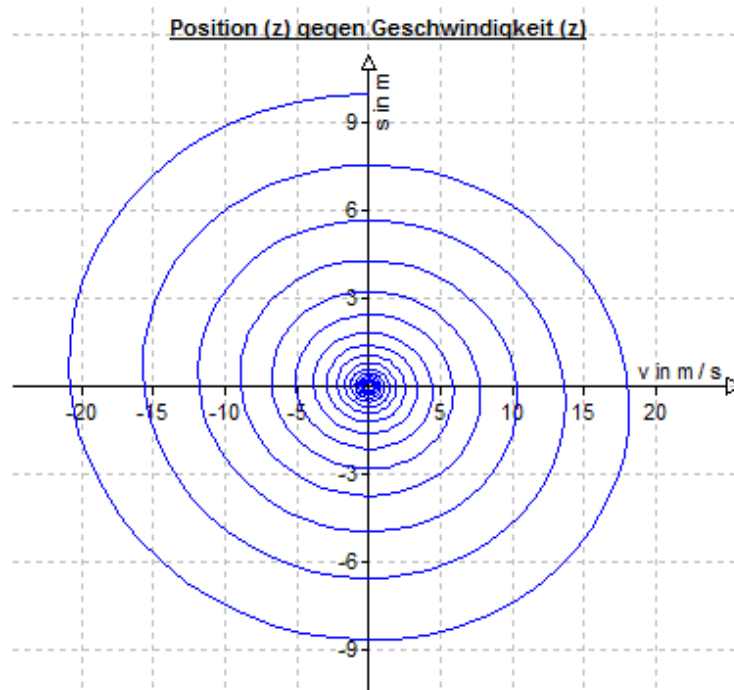


Abbildung 66: Phasendiagramm einer schwach gedämpften harmonischen Schwingung. Durch die Phasenverschiebung zwischen Auslenkung und Geschwindigkeit ergibt sich bei geeigneter Skalierung eine logarithmische Spirale.

dd) Lebensweltlicher Bezug

Der Name „Stoßdämpfer“ suggeriert ungünstigerweise, dass diesem Bauelement die eher untergeordnete Rolle der Erhöhung des Komforts zukäme.

In Wahrheit hat er aber die Aufgabe, den Reifen permanent in Kontakt mit der Straße zu halten. Geht diese auch nur für den Bruchteil einer Sekunde verloren, verliert der Reifen die Bodenhaftung. Geschieht dies in einer Kurve, bricht das Fahrzeug aus und gerät möglicherweise ins Schleudern. Der Stoßdämpfer hat daher die lebenswichtige Aufgabe, dem Fahrer die Kontrolle über sein Fahrzeug auch dann zu erhalten, wenn die Strecke Unebenheiten aufweist.

Hierzu muss er unbedingt so eingerichtet sein, dass das System nach einer Auslenkung, also etwa eine Bodenwelle oder eine dynamischen Radlastverschiebung, so schnell wie möglich wieder in den Ruhezustand zurückkehrt. Dies geschieht optimal nur im aperiodischen Grenzfall. Federkonstante, Dämpfungskonstante, Fahrzeugmasse und Bewegungsspielraum für Schwingungen müssen daher genau aufeinander abgestimmt sein, um eine optimale Wirkung zu erzielen.

Gerade unter jungen, männlichen Fahrern ist es aber üblich, Stoßdämpfer nach Gutdünken in Eigenarbeit zu manipulieren, etwa die Feder zu verkürzen, um so das Fahrzeug „tiefer zu legen“, oder den Dämpfer anders zu justieren, um ein anderes „Fahrgefühl“ zu erzielen. Durch die Beschäftigung mit dem Thema sollte den Schülern klar werden, dass sie neben dem gewünschten Effekt erhebliche Sicherheitseinbußen in Kauf nehmen müssen, wenn sie die Parameter des empfindlich einjustierten Systems ohne genaue Neuberechnung (die präzise nur eine Fachwerkstatt durchführen kann) in Eigeninitiative manipulieren.

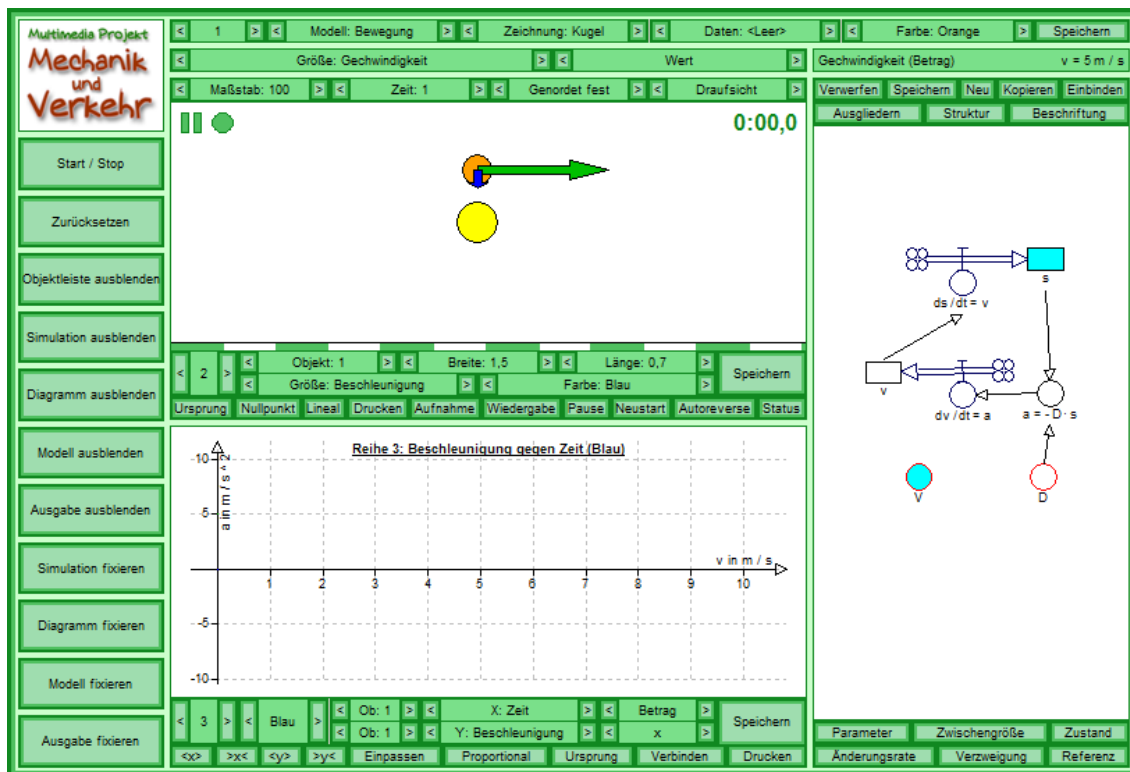
e) **Punktmassen**

Abbildung 67: Inhaltskomponente „Punktmassen“ in MV1. Diese Komponente besitzt keine vorgesehenen Inhalte und keine vorgegebene Konfiguration. Der Benutzer kann selbst mittels der Objektleiste eigene Objekte erstellen, ihnen Zeichnungen zuordnen und Modelle erstellen. Im Diagramm kann er beliebige Größen gegeneinander auftragen. Die Komponente dient einerseits zur Einarbeitung in die Software, andererseits zur Behandlung nicht vorgesehener Inhalte und zum Erstellen eigener Szenarien.

ea) **Inhaltliche Eingrenzung**

Diese Komponente ist keine Inhaltskomponente im engeren Sinne. Es handelt eher um eine offene Universalkomponente, welche einerseits dazu gedacht ist, die grundsätzliche Struktur und Bedienung der Software zu erlernen, andererseits aber auch, nicht vorgesehene Inhalte zu behandeln und zu diesem Zwecke eigene Szenarien, Modelle und Datensätze zu erstellen.

eb) **Ablauf und Benutzung**

Dem Benutzer stehen ein Modelleditor, eine Simulationsfläche, eine Diagrammfläche und eine Objektleiste zur Verfügung. Alle Bestandteile sind nach dem Start leer und besitzen keine Vorkonfiguration. Der Benutzer kann über die Objektleiste eigene Objekte erstellen, Zeichnungen dafür auswählen und Modelle erstellen. In der Simulation kann er sie mit Vektorpfeilen versehen und in der Diagrammfläche beliebige Größen gegeneinander auftragen. Fertige Konfigurationen können gespeichert werden.

2.3.1.6 Kritische Gesamtbewertung der Version 1.0.5

Die vom Autor dieser Arbeit erstellte Lernsoftware in der Version 1.0.5 ist in den vorangegangenen Abschnitten hinsichtlich ihres Funktionsumfangs und ihrer Bedienung, aber auch hinsichtlich der thematisierten Inhalte ausführlich vorgestellt und didaktisch begründet worden. In den nun folgenden Unterabschnitten werden die bisher realisierten didaktischen Möglichkeiten kurz zusammengefasst, aber auch verbleibende Grenzen und im Unterrichtsreinsatz (siehe Kapitel 3) aufgetretene Probleme aufgezeigt. Diese Bewertung dient dann zugleich als Grundlage für die Begründung der Änderungen und Erweiterungen in Version 2.0.0, die in Abschnitt 2.3.2 vorgestellt wird.

a) *Realisierte Möglichkeiten in Version 1.0.5*

Zunächst also eine kurze überblicksartige Zusammenfassung der in Version 1.0.5 erfolgreich realisierten Möglichkeiten.

- Die Möglichkeiten graphischer Modellbildung und interaktiver Computersimulation sind weitestgehend zusammengeführt worden, sodass sowohl
 - durch Flussdiagramme systemische Wechselwirkungen verdeutlicht werden,
 - der Transfer zwischen Diagramm und Formel erleichtert wird,
 - flexibel Rahmenvorgaben und ungeplante Fragen berücksichtigt werden können,
 - interessante, lebensnahe, komplexe Probleme behandelt werden können,
 - wobei nur elementares mathematisches Handwerkszeug erforderlich ist
 - und zugleich ein mächtiges Werkzeug der aktuellen Forschung verwendet wird,als auch
 - die Dynamik des Realsystems in der Computersimulation erhalten bleibt,
 - der Transfer zwischen Diagramm und dynamischem Prozess erleichtert wird,
 - die animierte Darstellung durch zusätzliche Abstraktionen ergänzt werden kann
 - und so eine gute Alternative zu statischen Skizzen und Diagrammen vorliegt.
- Es sind relative eigenständige Inhaltskomponenten zu Themen aus Straßenverkehr und Fahrzeugtechnik realisiert worden. Dadurch
 - liegt ein unmittelbarer, motivierender Bezug zur Lebenswelt der Schüler vor,
 - unterstützt die Software einen kontextorientierten Unterricht,
 - bieten sich Querbezüge zu verkehrspädagogischen Fragestellungen an
 - und ergeben sich hieraus Einsatzmöglichkeiten in der Präventionsarbeit.
- Die graphische Symbolsprache sowie die Benutzerführung bei der Erstellung und Bearbeitung von Modellen ist gegenüber den am Markt verfügbaren Modellbildungssystemen in einigen Punkten so modifiziert worden, dass
 - physikalische Systeme sich angemessener und übersichtlicher modellieren lassen,

- die Kommunikation mit den interaktiven Simulationsanteilen gewährleistet ist,
 - den Erfordernissen des gewählten Kontextes Rechnung getragen wird,
 - auch komplexe Modelle strukturiert und übersichtlich gestaltet werden können
 - und dem ungeübten Anwender weniger unnötige Hürden im Weg stehen.
- Außerdem bietet die extensive Multicodierung neben der Unterstützung von Transferleistungen auch die Möglichkeit, unterschiedlichen Lerntypen bei den Schülern gerecht zu werden.

b) Verbleibende Grenzen in Version 1.0.5

In diesem Abschnitt werden nun die Unzulänglichkeiten der Version 1.0.5, aber auch die weitergehenden Ideen dargestellt, welche beim Praxiseinsatz im Physikunterricht zutage getreten sind.

ba) Kompatibilität mit technischer Infrastruktur

Zunächst muss konstatiert werden, dass die technischen Infrastrukturen der einzelnen Schulen in hohem Maße inhomogen sind. Dies gilt für die Aktualität der vorhandenen Hardware, die verwendeten Betriebssysteme, die Softwareausstattung, die Netzwerkarchitektur sowie die Art und Qualität der Administration, welche von Schülern, Lehrern, Eltern, Firmen oder auch gar nicht durchgeführt werden können. Häufig wird außerdem spezielle Software und Hardware verwendet, die den Schüler an Manipulationen an den Computerarbeitsplätzen hindern, sowie dem Lehrer mehr Kontrolle über die Aktivitäten der Schüler geben sollen. Jede Kombination ist mit eigenen, spezifischen Möglichkeiten und Problemen verbunden.

- Bei der Installation und Freischaltung müssen auf jedem PC lokal die OCX-Datei³² als lokaler Dienst registriert, sowie einige Informationen über die verwendete Lizenz in die lokale Systemregistrierung eingetragen werden. Dies erfordert Administratorrechte³³ und Zugriff auf die lokalen Ressourcen; beides kann aus unterschiedlichsten Gründen zum Problem werden.
- Die Software benötigt außerdem Schreibrechte in ihrem Programmverzeichnis, in einem temporären Verzeichnis sowie an den Dateien, die zur jeweiligen Komponente gehören. Das kann einerseits an eingeschränkten Benutzerrechten der Schüler schei-

³² Wie in Abschnitt 2.3.1.1b) erklärt, liegen die Inhaltskomponenten als ActiveX-Komponenten vor. Solche sind immer in Dateien mit dem Suffix *.ocx gespeichert, in diesem Fall in der Datei Verkehr.ocx. Damit sie auf einem PC genutzt werden können, muss die Datei als „lokaler Dienst“ im System registriert werden, was in der Regel während der Installation geschieht.

³³ In Netzwerken meldet sich der Benutzer beim Systemstart mit Namen und Passwort an. Je nachdem, welcher Benutzergruppe er angehört, besitzt er dann unterschiedliche Rechte innerhalb des Systems. Die Gruppe der Administratoren hat die umfangreichsten Rechte, die auch Installationen und Manipulationen in sicherheitskritischen Bereichen einschließen. Sinnvollerweise werden diese Zugangsdaten daher vor Schülern und Dritten sorgsam geheim gehalten.

tern, andererseits an Architekturen, die Schreibzugriffe allgemein nur auf einem zentralen Server zulassen und die lokalen Ressourcen prinzipiell sperren.

- Weitere Probleme kann es geben, wenn die Sicherheitseinstellungen des Systems die Ausführung von ActiveX[®]-Dateien verbieten, weil die Computer mit dem Internet verbunden sind und dort ActiveX[®] als Sicherheitsrisiko eingestuft wird.
- Auch das Verfahren, über Kommandozeilenparameter in den Verknüpfungen die Komponenten aufzurufen, führt teilweise zu Konflikten. So lassen einige proprietäre Systeme gar keine Kommandozeilenparameter zu, in anderen Fällen sind die Parameter bei der Anmeldung als eingeschränkter Benutzer nicht verfügbar.

bb) Bedienelemente und Konfiguration

Die Beobachtung der Schüler bei der Bedienung der Software hat verschiedene Bereiche zutage gefördert, in denen Anordnungen von Steuerelementen oder Bedienabläufe als suboptimal eingeschätzt wurden.

- So hat sich die Interaktionsleiste auf der linken Seite als zu unübersichtlich erwiesen. Die relativ lange Liste von Funktionen, die noch dazu gelegentlich ihre Position oder ihre Beschriftung wechseln, erschwert eine schnelle Orientierung. Gleiches gilt für einige der Benutzerleisten, die als zu lang empfunden wurden.
- Auf die Bedienelemente für Aufnahme, Wiedergabe und die Steuerung des Ablaufs muss besonders häufig zugegriffen werden. Daher sollten sie schnell und intuitiv auffindbar sein. Sie mit weniger wichtigen Funktionen in eine Benutzerleiste zu integrieren hat sich als unangemessen herausgestellt.
- Zum Erstellen von Objekten, Vektorpfeilen und Datenreihen wird eine unbelegte Nummer ausgewählt und bestückt. Dies sollte der Vereinfachung dienen, hat sich aber als nicht intuitiv erwiesen. Viele Schüler suchten vergeblich nach Schaltern zum expliziten Erstellen und Löschen dieser Elemente.
- Für das Erstellen von Tabellen fehlt bislang ein eigenes Bedienelement. Die Zahlenwerte werden mit Hilfe eines Editors eingegeben, gespeichert und dann wird das Modell aktualisiert. Als Hauptproblem dabei konnte beobachtet werden, dass Schüler Schwierigkeiten hatten, sich in der Dateistruktur des Rechners zurechtzufinden oder die Konventionen bei der Namensvergabe zu beachten.
- Ähnliches gilt für das Erstellen von Datensätzen. Auch diese müssen bisher in einem Editor erstellt und dann importiert werden. Intuitiv ändern Schüler die Werte meist direkt im Modelleditor.
- Die Speicherung der für eine Komponente erforderlichen Daten in insgesamt 8 verschiedenen Dateien ist offenbar verwirrend und unpraktikabel. Intuitiv speichern Schüler meist nur die Konfigurationsdatei über das Menü, die restlichen Einstellungen werden oft vergessen, so dass Daten verloren gehen. Auch bei der Weitergabe hat sich diese Aufsplittung als aufwändig erwiesen.

bc) Modelleditor und Objekte

Die Bedienung des Modelleditors wurde von den Schülern meist erstaunlich schnell und ohne viel Erklärungsbedarf beherrscht. Das Konzept scheint also im Wesentlichen bereits sinnvoll und intuitiv verständlich zu sein. Jedoch haben sich aus Gesprächen mit Schülern und Lehrern noch weitere Verbesserungsmöglichkeiten ergeben.

- Der objektorientierte Ansatz wurde sehr positiv aufgenommen und schien auch wenige Verständnisprobleme zu bereiten. Im Gegenteil: Es wurde angeregt, das Konzept weiter auszubauen.
- Insbesondere besteht der Bedarf, Wechselbeziehungen zwischen Objekten untereinander zu ermöglichen, um auch Mehrkörperprobleme direkt lösen zu können. Bisher wurden solche Probleme - etwa die Kollision zweier Fahrzeuge - in den Quellcode der Komponente integriert.
- Gelegentlich wurde Unzufriedenheit mit den fest vorgegebenen Namen der „erforderlichen Größen“ geäußert, wenn im Unterricht bisher andere Bezeichnungen verwendet wurden. Dies wurde als Einschränkung der Flexibilität empfunden.
- Die Möglichkeit, aus verschiedenen Beschriftungen der Systemelemente auszuwählen wurde sehr positiv aufgenommen. Allerdings wurde oft bemängelt, dass bei der Beschriftung mit Werten nur die Startwerte angezeigt werden, nicht die gerade aktuellen Werte während des Simulationsverlaufs. Außerdem wurde die Anzeige der Werte von Vektorgrößen mit drei nebeneinander stehenden Zahlen als unübersichtlich eingestuft.
- Untermodelle wurden oft erst dann in Erwägung gezogen, wenn die Modelle zu unübersichtlich wurden. Dabei wurde dann eine Möglichkeit vermisst, bereits erstellte Größen nachträglich in ein anderes Teilmodell zu verschieben, um sie nicht löschen und neu erstellen zu müssen.
- Von Lehrern, die bereits mit Dynasys[®] gearbeitet hatten, wurde außerdem der Wunsch geäußert, einen Import-Export-Filter zu integrieren, um bereits erstellte Modelle auch in diesem Programm nutzen zu können.
- Auch eine Konvention hat sich als ungünstig erwiesen: Raumkoordinaten wurden in MV1 so interpretiert, dass die x-Richtung nach rechts, die y-Richtung vom Betrachter weg und die z-Richtung nach oben zeigt. Nach Angaben mehrerer Lehrer und Schüler scheint im Unterricht die Benennung von y- und z-Richtung (wohl in Absprache mit dem Fach Mathematik) genau umgekehrt üblich zu sein.

bd) Darstellung und Animation

- Die Berechnung der vektoriellen Größen erfolgt zwar immer in drei Dimensionen, die Darstellung im Simulationsbereich ist aber zweidimensional³⁴. Dies entspringt der Auffassung, die sowohl vom Autor als auch von der Arbeitsgruppe vertreten wurde, dass einfach gehaltene, schematisch flächige Grafiken am besten geeignet sind, die physikalisch relevanten Informationen zu vermitteln und perspektivische Verzerrungen die Beobachtung eher erschweren als unterstützen.

Im Laufe der Jahre wurde dieser Ansatz immer wieder angesprochen und diskutiert. Insbesondere bei der Inhaltskomponente „Kurvenfahrt“ wurde regelmäßig der Wunsch geäußert, neben der Vogelperspektive auch eine perspektivische Sicht aus dem Blickwinkel des Fahrers zu ermöglichen, um die Steuerung des Fahrzeugs zu erleichtern. Darauf konnte jeweils entgegnet werden, dass es gerade nicht darum gehe, einen möglichst realitätsnahen Fahrsimulator zu programmieren, sondern physikalische Zusammenhänge zu vermitteln.

Auch im Rahmen des Unterrichtseinsatzes war die flächige Darstellung eine der am häufigsten (insbesondere von Schülerseite) bemängelten Eigenschaften der Software. Dabei stellte sich auch heraus, dass viele Schüler in ihren Wahrnehmungsgewohnheiten durch Computerspiele und Medien offenbar bereits derart auf perspektivische Darstellungen „geprägt“ sind, dass ihnen die genannten Verzerrungen weit weniger Probleme bereiten als der Wechsel zwischen zwei verschiedenen Projektionsebenen in der flächigen Darstellung, wie dies in der Software vorgesehen ist. Es scheint also durchaus angebracht, den anfänglichen Ansatz noch einmal zu überdenken.

- Es wurde auch gelegentlich die Möglichkeit vermisst, einen Vorgang gleichzeitig in verschiedenen Ansichten darzustellen, etwa eine zusätzliche Übersichtskarte bei der Kurvenfahrt oder einen Unfall aus der Perspektive beider Fahrer.
- Als darstellungstechnisch ungünstig hat sich auch die fest eingestellte Schriftgröße erwiesen. Gerade bei der Verwendung eines Videoprojektors bei der gemeinsamen Arbeit mit der Software im Plenum wurden die Zeichen zum Teil als zu klein und schwer lesbar eingeschätzt.

be) Flexibilität und Anpassbarkeit

- Es hat sich herausgestellt, dass die Komplexität der vorgegebenen Inhaltskomponenten einen direkten Einsatz im Unterricht relativ problematisch macht. Aus diesem Grunde wurde auch die Komponente „Punktmassen“ aufgenommen, die eine schrittweise Hinführung zu den komplexeren Themen ermöglichen soll. Weitere

³⁴ Genau genommen ist ein Monitorbild trivialerweise *immer* zweidimensional - das ist hier aber natürlich nicht gemeint. Wenn im Zusammenhang mit der Simulation von dreidimensionaler Darstellung die Rede ist, dann bedeutet das, dass Ort und Blickrichtung des Betrachters sowie die perspektivische Verzerrung (wie einer realen Kameraaufnahme) bei der Darstellung berücksichtigt werden.

Zwischenschritte, welche die Themen in elementarere Bestandteile zerlegen, wären durchaus sinnvoll.

- Die Erstellung eigener Szenarien, die ursprünglich nur am Rande vorgesehen war und daher in MV1 nur über eine Scriptdatei möglich ist, hat sich bei der konkreten Unterrichtsgestaltung unvermutet als wichtig erwiesen (siehe hier zu Kapitel 3). Erleichterungen hierbei wären dringend erforderlich.
- Auch eine Möglichkeit, komplett eigenständige Komponenten anzulegen, bei denen einerseits Objekte, Gegenstände, Modelle und Datensätze selbst erzeugt werden, aber auch die Anordnung der einzelnen Bereiche selbst beeinflusst werden kann, wurde mehrfach (häufiger von Schülern als von Lehrern) nachgefragt.
- Praktisch überhaupt nicht gefragt waren die Möglichkeiten, welche die ActiveX[®]-Komponenten bieten. Dies mag damit zusammenhängen, dass im Gegensatz zu Java-Applets die Komponenten nicht einfach beim Aufruf einer Webseite „im Hintergrund“ herunter geladen und ausgeführt werden können, sondern einer Installation auf dem lokalen PC bedürfen. Lediglich vom Autor selbst wurden Komponenten gelegentlich zu Demonstrationszwecken in Präsentationen eingebunden. Auf der anderen Seite bringt diese Programmstruktur einen enormen zusätzlichen Entwicklungsaufwand mit sich, der die Erstellung jeder neuen Komponente zu einem größeren Projekt macht. Die Möglichkeiten scheinen diesen Aufwand nicht zu rechtfertigen.

2.3.2 „Mechanik und Verkehr“ 2.0.0

Die Software Mechanik und Verkehr 2.0.0 (im Folgenden kurz Version 2 oder auch MV2 genannt) ist eine vollständig überarbeitete Fassung der Software. Bei der Neukonzeption wurden insbesondere die in Abschnitt 2.3.1.6 dokumentierten Erfahrungen aus dem Praxiseinsatz in der Schule ausgewertet, sowie eine Vereinfachung zukünftiger Weiterentwicklungen angestrebt. Bewährte Ansätze wurden dabei natürlich beibehalten, problematische wurden überdacht und durch alternative Möglichkeiten ersetzt. Die hier vorgestellte Version 2 stellt dabei das vorläufige Ergebnis dieser Bemühungen dar. Selbstverständlich wird es nötig sein, auch diese Version zukünftig im Praxiseinsatz zu erproben und wiederum zu überarbeiten - derartige Entwicklungsprozesse sind niemals wirklich abgeschlossen.

In den folgenden Abschnitten wird nun die Version 2 kurz vorgestellt. Um unnötige Wiederholungen zu vermeiden, werden dabei Gemeinsamkeiten mit der Version 1.0.5 nicht weiter hervorgehoben, sondern insbesondere die charakteristischen Unterschiede dargestellt. Jede Änderung wird kurz erklärt und unter Bezug auf die Ausführungen in Abschnitt 2.3.1.6 begründet.

2.3.2.1 Starten der Software

a) Abschied vom ActiveX®-Konzept

Wie bereits dargestellt, hat sich das Konzept, jede Inhaltskomponente als ActiveX®-Steuerelement zu entwickeln und dann in einer EXE-Datei zu laden, als problematisch und zugleich wenig nützlich erwiesen - bei gleichzeitig relativ hohem, zusätzlichem Entwicklungsaufwand.

Die Doppelentwicklung wird daher nicht fortgesetzt. In Version 2 gibt es nur noch eine einzige ausführbare Datei `Verkehr.exe`. Dies hat unter anderem die folgenden Konsequenzen:

- Es sind keinerlei Einträge in die Systemregistrierung mehr erforderlich. Dies wurde auch bei der Speicherung der Lizenzinformationen beibehalten, die sich nun in einer Lizenzdatei im Programmverzeichnis befinden.
- Damit lässt sich bei fehlenden Administratorrechten eine Installation sogar ganz umgehen, sofern die „Visual Basic Runtime Engine“ (VBR) auf dem System bereits vorhanden ist. Auch neue Programmversionen können einfach durch Ersetzen der EXE-Datei lauffähig gemacht werden.
- Die Software ist damit auch über das Netzwerk ausführbar. Sofern lokal die VBR installiert ist, kann die Programmdatei zentral abgelegt und parallel von mehreren Clients zugegriffen werden.

b) Bündelung zur universalen Komponentendatei

Die vielfältigen Dateiformate in MV1 waren in vieler Hinsicht verwirrend und unpraktisch. Nicht zuletzt trug dazu auch die Notwendigkeit bei, jede Datei einzeln und explizit zu speichern, wenn entsprechende Änderungen vorgenommen wurden.

Im MV2 gibt es für jede Komponente nur noch genau eine Datei, die so genannte Komponentendatei mit `*.mv2` als Suffix. Diese enthält alle für die Komponente erforderlichen Informationen und Daten, als da wären:

- Definition der Bestandteile der Komponente
- Anordnung und Eigenschaften aller Bestandteile
- Definition und Eigenschaften der Objekte
- Definition und Eigenschaften von Kameras und Lichtquellen
- Physikalische Modelle für Objekte
- Datensätze für Objekte
- Zeichnungen für Objekte
- Wertetabellen für Tabellengrößen in Modellen

Zurzeit ist die Datei noch in jedem Editor als Textdatei lesbar. Sobald auch die restlichen verbleibenden Einstellungen sich über Benutzerschnittstellen durchführen lassen und Direktzugriffe nicht mehr erforderlich sind, soll die Datei in ein anderes Format umgewandelt werden, um ungewollte Manipulationen durch Schüler zu verhindern.

c) Generierung von Komponenten erst zur Laufzeit

Wie die Ausführungen unter b) schon vermuten lassen, gibt es auch „im Inneren“ der Software weit reichende strukturelle Änderungen. Eine Komponente in MV2 besteht nicht mehr aus einem in sich geschlossenen Programm, das vom Autor in der Entwicklungsumgebung erstellt wird. Jede Komponente wird *vollständig erst zur Laufzeit generiert*. Alle hierfür erforderlichen Informationen sind in der Komponentendatei enthalten, alle Bestandteile und Bedienelemente werden beim Laden der Datei erzeugt und positioniert, ihre Eigenschaften und ihre Beziehungen untereinander werden festgelegt und schließlich das Szenario mit allen dazu gehörigen Elementen geladen.

Diese neue Struktur hat eine Reihe von Vorteilen:

- Die Entwicklung neuer Komponenten wurde extrem vereinfacht und der Zeitbedarf auf einen Bruchteil der bisherigen Zeit reduziert.
- Jeder Lehrer kann nun mit wenig Aufwand Komponenten modifizieren oder komplett eigene Komponenten erzeugen.
- Aufgrund des geringen Aufwandes ist es nun auch möglich, wesentlich mehr und thematisch überschaubarere Inhaltskomponenten zu entwickeln.

- Neue Komponenten können einfach als einzelne Datei von Lehrern und Schülern weitergegeben oder auch öffentlich zugänglich gemacht werden.

d) Vereinfachung des Programmaufrufs

Problematisch war auch das Konzept, unverzichtbare Startinformationen über Kommandozeilenparameter zu übergeben. In Version 2 kann die EXE-Datei ohne weitere Ergänzungen aufgerufen werden, enthält dann aber keine Komponente - diese muss dann über das Menü nachgeladen werden.

Ansonsten ist es auch möglich, den Namen einer Komponentendatei (siehe Abschnitt b) als Parameter zu übergeben, welche dann direkt beim Start geöffnet wird. Bei der Installation wird außerdem die Endung *.mv2 als Dateityp registriert. Wird irgendwo in Windows® eine Datei mit dieser Endung aufgerufen, wird automatisch MV2 gestartet und die Komponentendatei geladen. Auch die Einträge im Startmenü enthalten nur noch Verweise auf die Komponentendateien, welche dann im Programm geladen werden.

2.3.2.2 Aufbau und Benutzung

Hinsichtlich Aufbau und Bedienstruktur weist Version 2 mit Version 1 zahlreiche Gemeinsamkeiten auf. Insbesondere die Aufteilung in Kernbereiche, die in Abschnitt 2.3.1.2 herausgearbeitet wurde, hat sich bewährt und wird daher beibehalten. Im Detail weisen die Bereiche aber eine Reihe von Unterschieden zur Vorgängerversion auf, die im Folgenden dargestellt werden.

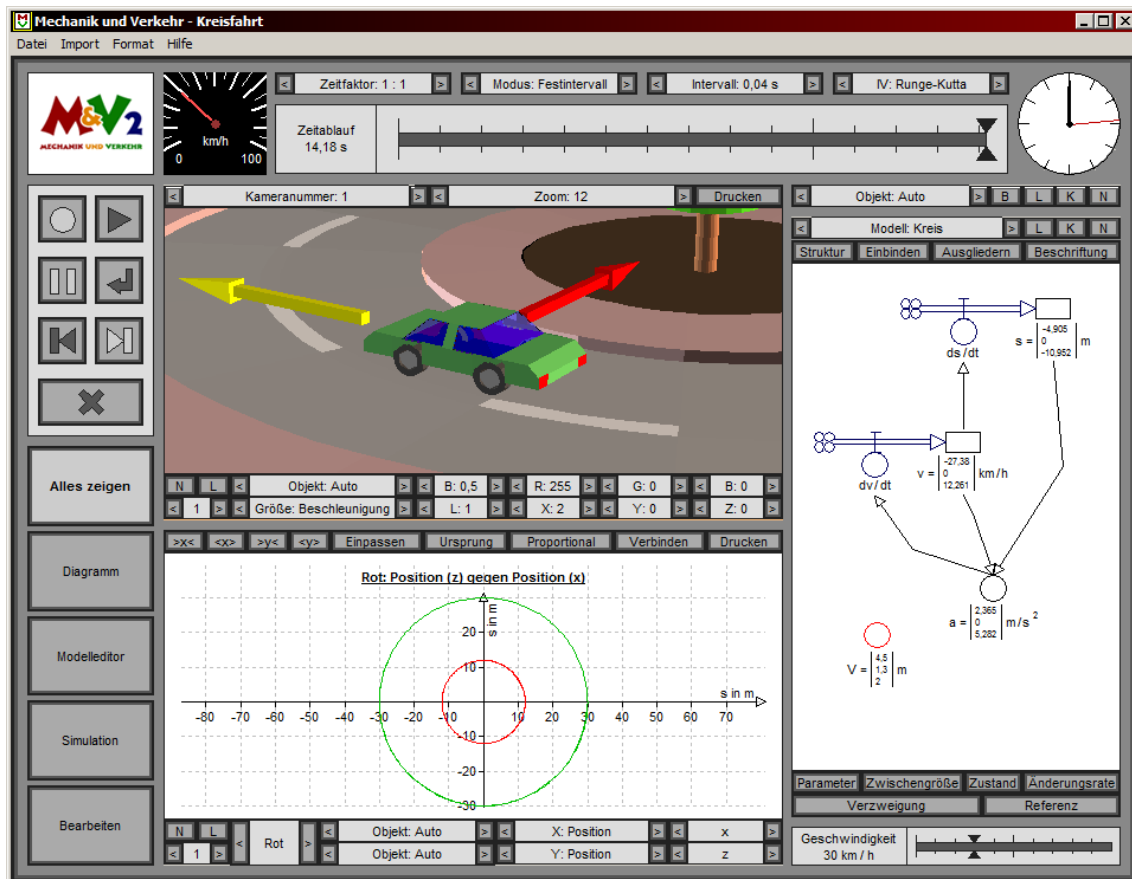


Abbildung 68: Aufbau der Software „Mechanik und Verkehr“ 2.0.0. Die Kernbestandteile aus Version 1.0.5 sind zwar weiterhin vorhanden, wurden aber modifiziert. Links oben ist das neue Bedienfeld für Start und Stopp, Aufnahme und Wiedergabe zu sehen, darunter der vereinfachte Interaktionsbereich. Der Kopfbereich wurde neu eingeführt und ist bestückt mit einem Tachometer, einer Stoppuhr, einem Schieber für Eingriffe in den Ablauf und einigen Einstellungen zur Berechnung. Die Benutzerleisten und Anzeigen von Simulations- und Diagrammbereich sowie des Modelleditors wurden gründlich überarbeitet.

a) Objekt- und Modelleditor

Anhand der Überschrift ist die erste Strukturänderung bereits zu vermuten: Die Objektleiste (vergleiche Abschnitt 2.3.1.2e) ist kein eigenständiger Bereich mehr. Sie ist vollständig aufgegangen im völlig überarbeiteten und nun wesentlich mächtigeren, kombinierten Objekt- und Modelleditor. Aufgrund der Fülle der neuen Funktionen wird jeder ein eigener Unterabschnitt gewidmet.

aa) Objektverwaltung

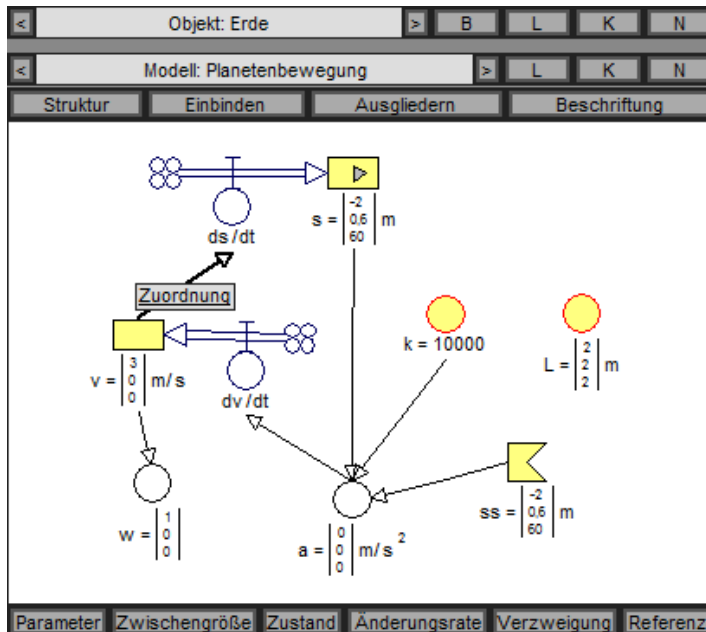


Abbildung 69: Objekt- und Modell-editor in MV2. Am oberen Rand befindet sich als voll integrierte Komponente die zuvor eigenständige Objektleiste, die außer den bisherigen Objekten auch statische Elemente, Kameras und Lichtquellen verwaltet. Abhängig von der Art des ausgewählten Objektes ändert sich der Bereich darunter. Hier zu sehen ist der bekannte Modellbereich, der um eine vereinfachte Möglichkeit zur Auswahl und Verwaltung von Modellen erweitert wurde.

Wie in Abbildung 69 zu sehen ist, befinden sich am oberen Rand des neuen Objekt- und Modelleditors Bedienelemente zur Verwaltung der Objekte.

- Auf der linken Seite befindet sich ein Auswahlfeld, mit welchem eines der vorhandenen Objekte ausgewählt werden kann. Alle Objekte sind alphabetisch sortiert.
 - Die erste auffällige Neuerung dabei ist, dass nun alle Objekte eindeutige Namen besitzen, die (bei den Objekten im engeren Sinne) der Benutzer selbst auswählen und vergeben kann.
 - Die zweite Neuerung ist eine erweiterte Verwendung des Objektbegriffes: Neben den bisherigen Objekten fallen nun auch die zuvor als „Gegenstände“ bezeichneten, statischen Objekte in die Definition, die bisher in der Szenario-Datei definiert wurden (siehe Abschnitt 2.3.1.3c). Ihnen wird einfach ein „statisches Modell“ zugeordnet, das nur aus Konstanten besteht.
 - Außerdem gehören zwei neue Elemente zu den „Objekten im weiteren Sinne“, die hier ausgewählt werden können: *Kameras* und *Lichtquellen*. Diese sind erforderlich aufgrund der nun perspektivischen Darstellung im Simulationsbereich (siehe hierzu Abschnitt b).
 - Kameras und Lichtquellen besitzen zwar auch eindeutige Namen, diese sind aber nicht frei zu vergeben, sondern werden nach dem Muster „Lichtquelle1“ oder „Kamera2“ automatisch zugeordnet.
- Das Objekt, welches in besagtem Auswahlfeld angezeigt wird, ist im Editor aktuell, wird im darunter liegenden Bereich angezeigt und kann gegebenenfalls bearbeitet werden.

- Neben der Auswahl befinden sich Schalter zur erweiterten Verwaltung dieser Objekte. Sie sind benannt mit einzelnen Buchstaben, die einer in MV2 neu eingeführten und auch in allen anderen Bereichen durchgehaltenen Konvention folgen:

- N = Neu *Fügt ein Objekt hinzu (siehe unten)*
- L = Löschen *Löscht nach Sicherheitsabfrage das aktuelle Objekt*
- B = Bearbeiten *Öffnet ein Feld zur Änderung von Eigenschaften des Objektes*
- K = Kopieren *Erstellt eine Kopie des Objektes unter anderem Namen*

Gruppen von Schaltern nach dieser Konvention werden im Folgenden als „Verwaltungsbereich“ bezeichnet.

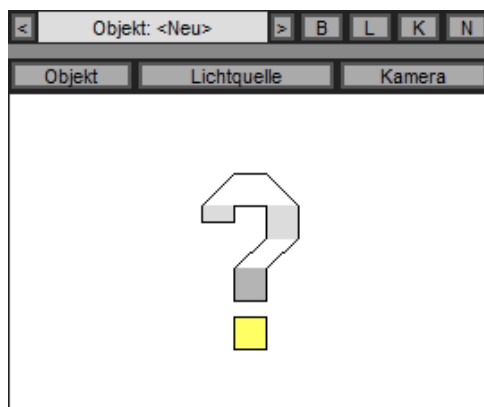


Abbildung 70: Hinzufügen eines neuen Objekts in MV2. Wird der Schalter „N“ im Verwaltungsbereich betätigt, erscheint dieses Bild. Oberhalb des Fragezeichens sind drei Schalter zu sehen, mit welchen der Benutzer darüber entscheiden kann, welche Art von Objekt (im weiteren Sinne) erzeugt werden soll.

- Wird der Schalter zum Hinzufügen des Objektes betätigt, wird ein Bild wie in Abbildung 70 angezeigt. Ein Klick auf einen der Schalter Objekt, Lichtquelle oder Kamera fügt dann das entsprechende Objekt hinzu. Das stilisierte Fragezeichen ist eines von fünf möglichen Symbolen, welche dem Benutzer eine raschere visuelle Orientierung ermöglichen sollen.

ab) Lichtquellen und Kameras

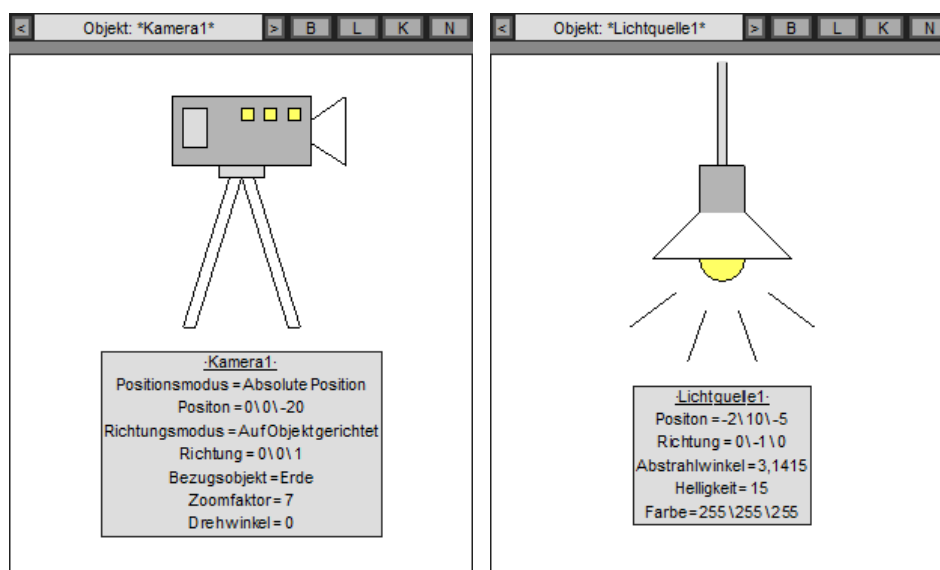


Abbildung 71: Kameras und Lichtquellen werden im Anzeigebereich des Modell- und Objekteditors in MV2 als stilisiertes Symbol angezeigt, darunter alle Eigenschaften des jeweiligen Objektes.

Lichtquellen und Kameras besitzen keine physikalischen Modelle, sondern ein Bündel von Eigenschaften, welche Einfluss darauf haben, wie ein gegebenes Szenario im Simulationsbereich dargestellt wird. Wird ein Objekt im oberen Feld ausgewählt, wird im Anzeigebereich des Editors, welcher in MV1 den physikalischen Modellen vorbehalten war, (wie in Abbildung 71 zu sehen) ein stilisiertes Symbol einer Lichtquelle oder einer Kamera angezeigt, darunter ein Kasten mit allen Eigenschaften des Objektes.

Wird über den Verwaltungsbereich für Objekte ein Objekt (im weiteren Sinne) dieser beiden Typen hinzugefügt oder bearbeitet, erscheint ein Dialog wie in Abbildung 72.



Abbildung 72: Bearbeitung von Kameras und Lichtquellen in MV2. Die entsprechenden Dialoge werden über den *Bearbeiten*-Schalter im Verwaltungsbereich für Objekte aufgerufen.

Die einzelnen Eigenschaften der Kameras und Lichtquellen und die Bedeutung der möglichen Werte werden nun im Folgenden erklärt. Vorgegangen wird dabei anhand der Reihenfolge im jeweiligen Dialog von oben nach unten.

Eigenschaften der Lichtquellen

- Die obere Eingabezeile enthält die *Position* der Lichtquelle im Raum in drei Koordinaten. Alle Lichtquellen werden als punktförmig angenommen.
- Die nächste Zeile definiert die *Richtung*, in welche die Lichtquelle abstrahlt. Sie wird ebenfalls über drei Koordinaten festgelegt, die zusammen einen Richtungsvektor bilden.
- Da Lichtquellen meistens nicht nur exakt in eine Richtung strahlen sollen, kann in der nächsten Zeile der *Abstrahlwinkel* festgelegt werden. Ausgehend von der definierten Hauptrichtung, wird die Abstrahlung in allen Raumrichtungen um den angegebenen Winkel erweitert. Wird π als Wert angegeben, strahlt die Quelle in alle Raumrichtungen, die Hauptrichtung ist dann nicht weiter von Bedeutung.
- Die folgende Zeile gibt die *Helligkeit* der Lichtquelle an. Die Werte besitzen allerdings keine sinnvolle Einheit mit einer realen Entsprechung.
- In der letzten Zeile wird die *Farbe* des Lichtes, das von der Lichtquelle abgestrahlt wird, als RGB-Wert³⁵ angegeben.

³⁵ RGB steht für Rot, Grün und Blau. Aufgrund der spezifischen Eigenschaften der Netzhaut des menschlichen Auges lässt sich aus diesen drei Grundfarben durch optische Farbmischung jede mögliche

Eigenschaften von Kameras

- Der `Positionsmodus` in der ersten Zeile bestimmt, auf welche Weise die Kamera im Raum positioniert wird. Die Bedeutung lässt sich am besten erschließen anhand der möglichen Werte, die zur Auswahl stehen:
 - „`Absolute Position`“ bedeutet, dass die Kamera an einer festen Position steht, die in absoluten Koordinaten angegeben wird.
 - „`Wie Objektposition (absolut)`“ heißt, dass sich die Position der Kamera an der Position eines (weiter unten definierten) Bezugsobjektes orientiert. Damit sich die Kamera nicht immer genau im Mittelpunkt des Objektes befindet, kann ihre Position gegenüber der Objektposition verschoben werden. Der Begriff „absolut“ in Klammer besagt, dass die Verschiebung in absoluten Raumkoordinaten angegeben wird.
 - „`Wie Objektposition (relativ)`“ bedeutet annähernd das gleiche wie die vorherige Möglichkeit. Die Verschiebung gegenüber der Objektposition wird aber in „relativen Koordinaten“ angegeben, als relativ zur definierten Richtung des Objektes (siehe unten).
- In der nächsten Zeile geht es um die `Position` der Kamera. Die genaue Bedeutung der Angabe hängt vom `Positionsmodus` ab: Wurde „absolute Position“ gewählt, geben die drei Koordinaten eben diese absolute Position der Kamera im Raum an. Wurde eine der anderen beiden Möglichkeiten gewählt, welche sich auf ein Objekt beziehen, geben die Koordinaten die Verschiebung gegenüber der Objektposition an. Bei einer relativen Verschiebung entspricht die x-Richtung der Objektrichtung.
- Der `Richtungsmodus` in der folgenden Zeile bestimmt die Ausrichtung der Kamera und gleichzeitig die Bedeutung Koordinaten in der darauf folgenden Zeile. Folgende Einstellungen sind möglich:
 - „`Absolute Richtung`“ interpretiert die folgende Zeile als absolute Koordinaten eines Richtungsvektors.
 - „`Wie Objektrichtung`“ bedeutet, dass die definierte Richtung eines Bezugsobjektes herangezogen wird. Die Koordinaten werden ignoriert.
 - „`Auf Punkt gerichtet`“ interpretiert die Koordinaten als absoluten Punkt im Raum, auf welchen die Kamera ausgerichtet wird.
 - „`Auf Objekt gerichtet`“ richtet die Kamera immer in Richtung des Bezugsobjektes aus. Die Koordinaten werden ignoriert.
- Die nächste Zeile wird als `Richtung` interpretiert, wobei die genaue Bedeutung vom zuvor erklärten `Richtungsmodus` abhängt.

wahrnehmbare Farbe erzeugen. Im Bereich der Informationstechnik ist diese Codierung von Farben besonders verbreitet, da die meisten Monitore und Anzeigeräte Farben auf diese Weise zusammensetzen.

- Unter `Bezugsobjekt` kann der Name eines Objektes angegeben werden. Je nach Einstellung für `Positionsmodus` und `Richtungsmodus` wird diese Angabe unterschiedlich verwendet.
- `Zoom` gibt den Vergrößerungsfaktor der Kamera und damit die Größe des sichtbaren Bildausschnittes an.
- Gewöhnlich ist die Kamera bei jeder Ausrichtung so gedreht, dass die x-z-Ebene immer waagrecht erscheint. Über den `Drehwinkel` kann die Kamera gegenüber dieser Ebene gekippt werden.

ac) Modellanzeige

Wird im oberen Auswahlfeld ein Objekt im engeren Sinne ausgewählt, erscheint darunter eine weitere Leiste, welche Auswahl und Verwaltung von Modellen erlaubt, wie in Abbildung 69 zu sehen. Das Auswahlfeld bietet alle in der Komponente definierten Modelle an, das ausgewählte wird automatisch dem aktuellen Objekt zugeordnet. Die nebenstehenden Schalter erlauben das Erzeugen, Löschen und Kopieren von Modellen nach dem bekannten Muster. Ist im Auswahlfeld ein Modell ausgewählt, wird dieses im Anzeigebereich wie in MV1 als Flussdiagramm angezeigt.

Die Anzeige der Flussdiagramme ist im Wesentlichen identisch mit der in Version 1.0.5, bis auf zwei erwähnenswerte Unterschiede:

- Hat der Benutzer als Beschriftung die *Werte* der Größen ausgewählt, so werden die vektoriellen Größen anders angezeigt als bisher: Wie in Abbildung 73 zu sehen, stehen die einzelnen Richtungskomponenten nicht mehr nebeneinander, sondern untereinander. Dies soll die oft vermisste Übersichtlichkeit erhöhen.
- Die angezeigten Werte entsprechen nicht einfach den Startwerten, sie ändern sich permanent mit der laufenden Simulation.

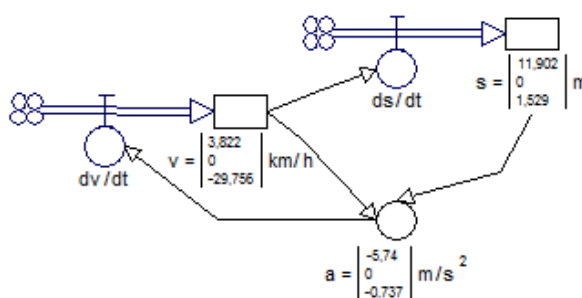


Abbildung 73: Anzeige der Werte vektorieller Größen in MV2. Zur Erhöhung der Übersichtlichkeit stehen die Richtungskomponenten jetzt untereinander. Die angezeigten Werte ändern sich mit der laufenden Simulation.

ad) Modellbearbeitung

Bei der Modellbearbeitung schlagen sich einige strukturelle Änderung nieder, die in Abschnitt 2.3.2.4 thematisiert sind. Die neuen Dialoge sind in Abbildung 74 zu sehen.

Abbildung 74 zeigt vier Dialogfelder für die Eigenschaften von Systemelementen in MV2:

- Parameter:** Bezeichnung: Richtung, Eindeutig: Individuell, Formelzeichen: r , Einheit: (leer), Größentyp: Vektor, SI-Faktor: 1, X: 0, Y: 1, Z: 0, Min: -1, Max: 1. Buttons: Abbrechen, Löschen, Verschieben, Umwandeln, Übernehmen.
- Zustandsgröße:** Bezeichnung: Geschwindigkeit, Eindeutig: Individuell, Formelzeichen: v , Einheit: m / s, Größentyp: Vektor, SI-Faktor: 1, X: 15, Y: 0, Z: 0, Min: -10000, Max: 10000. Buttons: Abbrechen, Löschen, Verschieben, Umwandeln, Übernehmen.
- Zwischengröße:** Bezeichnung: Federkraft, Eindeutig: (leer), Formelzeichen: F_D , Einheit: N, Größentyp: Vektor, SI-Faktor: 1, Quelle: Formel, Formel: $-D \cdot s$. Buttons: Abbrechen, Löschen, Verschieben, Umwandeln, Übernehmen.
- Referenz:** Bezeichnung: Bezugsposition, Eindeutig: Individuell, Formelzeichen: ss , Objekt: Sonne, Modell: Planetenbewegung, Größe: Position. Buttons: Abbrechen, Löschen, Verschieben, Umwandeln, Übernehmen.

Abbildung 74: Eigenschaften der Systemelemente in MV2. Hinzugekommen ist das Feld zur Wahl zwischen Individualgröße und allgemeiner Größe, die Festlegung von Minima und Maxima sowie bei der Referenzgröße die Auswahl des Bezugsobjektes.

- Es gibt keine eigens ausgewiesenen Datensätze mehr. Stattdessen kann der Benutzer für jede Größe entscheiden, ob diese Größe „allgemein“ oder „individuell“ sein soll. Das bedeutet: Die Werte allgemeiner Größen werden wie bisher im Modell selbst abgelegt und sind für jedes Objekt gleich. Die Werte individueller Größen werden jedoch mit dem jeweiligen Objekt gespeichert. Wird im Modelleditor eine Änderung vorgenommen, wirkt sich diese nur auf das aktuelle Objekt aus. Auf diese Weise kann auf eigenständige Datensätze verzichtet werden.
- Für jede Richtungskomponente einer Größe können Minimum und Maximum angegeben werden. Sollte sich rechnerisch ein Wert außerhalb des so definierten Wertebereichs ergeben, wird das Ergebnis entsprechend angepasst. So lässt sich beispielsweise leicht verhindern, dass ein Fahrzeug nach dem Bremsvorgang rückwärts fährt.
- Der Dialog für Referenzgrößen besitzt nun ein weiteres Eingabefeld, in welchem ein Objekt angegeben werden kann. Gemeint ist damit das Bezugsobjekt, auf welches sich die Referenz bezieht. Soll nicht auf ein externes Objekt referenziert werden, kann „<Intern>“ ausgewählt werden. Mehr dazu steht in Abschnitt 2.3.2.4.

- Jede Größe lässt sich in MV2 durch Klick auf den entsprechenden Schalter im Eigenschaftsdialog in einen anderen Größentyp umwandeln. Wenn beispielsweise in einem Modell einer gleichförmigen Bewegung die Geschwindigkeit als Konstante definiert wurde, nun aber eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung modelliert werden soll, kann die Konstante in eine Zustandsgröße umgewandelt werden. Alle vorhandenen Eigenschaften werden sinnvoll übernommen.
- Mittels eines weiteren neuen Schalters lassen sich Größen in andere Teilmodelle verschieben. Dies kann zum Beispiel sinnvoll sein, wenn ein Modell größer wird und erst nachträglich in Untermodelle aufgeteilt werden soll.

ae) Tabellenbearbeitung

Völlig neu gestaltet wurde auch der Umgang mit Tabellen. In MV1 mussten die Wertetabellen in einen externen Editor eingegeben, als Datei gespeichert und diese dann in die Tabellengröße eingelesen werden. Sobald in MV2 eine Zwischengröße als Tabellengröße definiert wird, ändert sich der Dialog wie in Abbildung 75.

So wie alles andere, werden auch die Datensätze für Tabellen nun in die Komponentendatei integriert. Eine Liste der vorhandenen Tabellen steht unter `Datensatz` zur Auswahl bereit. Daneben ist ein Verwaltungsbereich für Tabellen nach dem üblichen Muster zu sehen. Hiermit können neue Tabellendatensätze hinzugefügt, sowie vorhandene gelöscht oder bearbeitet werden. Zur Bearbeitung erscheint ein Tabelleneditor, welcher in MV2 neu aufgenommen wurde und in Abbildung 76 dargestellt ist.

Abbildung 75: Eigenschaften einer Tabellengröße in MV2. Es gibt keinen Bezug mehr zu Dateien. Dafür können Tabellen direkt verwaltet und in einem Tabelleneditor geöffnet werden.

Der Editor besitzt zwei parallel angezeigte Darstellungen: Auf der rechten Seite wird eine Tabelle mit den Zahlenwerten für Eingang und Ausgang angezeigt, auf der linken Seite werden diese Werte in einem Diagramm gegeneinander aufgetragen. Die Werte werden im Diagramm als relativ dicke Punkte aufgetragen, die mit dünneren Linien verbunden sind, um die Interpolation durch die Größe zu demonstrieren.

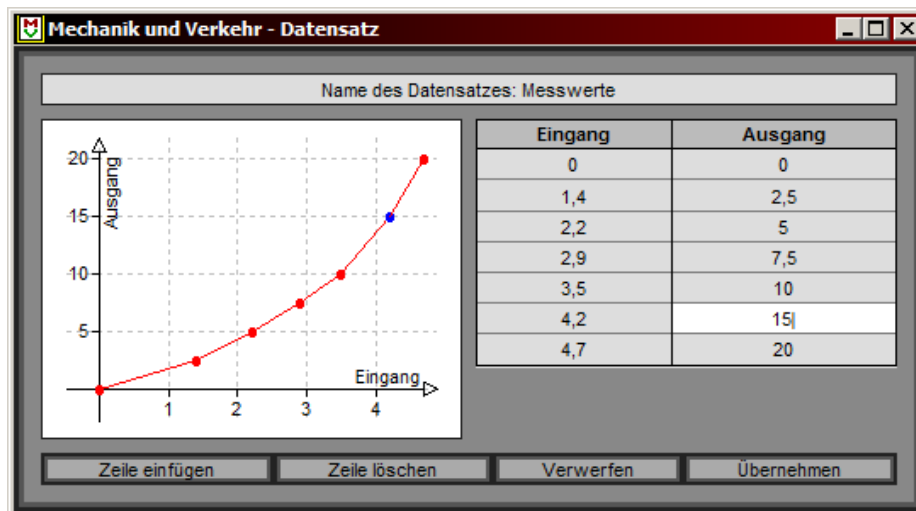


Abbildung 76: Tabelleneditor in MV2. Die Daten werden gleichzeitig (rechts) als Wertetabelle und (links) als Diagramm angezeigt. Das Diagramm wird ständig automatisch skaliert. Zahlenwerte können direkt durch Eingabe bearbeitet werden, Diagrammpunkte können mit der Maus hinzugefügt oder verschoben werden.

Beide Seiten werden permanent miteinander abgeglichen und ermöglichen auch beide direkte Manipulationen der Werte:

- Wird in der Tabelle auf einen Wert geklickt, erscheint ein Cursor und der Wert kann direkt bearbeitet werden. Gleichzeitig wechselt der entsprechende Punkt im Diagramm seine Farbe von Rot auf Blau. Jede Änderung wird sofort ins Diagramm übernommen.
- Zwischen den Tabellenpositionen kann mit den Cursorstasten sowie mit der Tabulator-Taste gewechselt werden. Wird die Tabulator-Taste am Ende der Tabelle gedrückt, wird eine weitere Zeile am Ende angefügt und direkt als Punkt ins Diagramm übernommen.
- Über die Schalter am unteren Rand des Editors lässt sich in die Tabelle an der aktuellen Position eine Zeile einfügen oder auch die aktuelle Zeile löschen.
- Die Werte können in beliebiger Reihenfolge eingegeben werden. Sowohl zur Anzeige im Diagramm, als auch zur späteren Nutzung in der Tabellengröße, werden die Werte nach der Eingangsgröße aufsteigend sortiert.
- Im Diagramm können Werte hinzugefügt werden, indem mit der Maus an eine beliebige freie Position geklickt wird. Der Punkt wird automatisch direkt als Wert in die Tabelle eingetragen.
- Wird auf einen vorhandenen Wert geklickt, kann dieser beliebig innerhalb des Diagramms verschoben werden. Eine Verschiebung über den Rand hinaus bewirkt eine Erweiterung des Wertebereichs des Diagramms in diese Richtung. In der Tabelle wird der Wert, welcher dem aktuellen Punkt entspricht, während des Verschiebens hervorgehoben und permanent aktualisiert.

af) Objektbearbeitung

Objekte besitzen außer dem physikalischen Modell, welches ihr Verhalten simuliert, noch weitere Eigenschaften. Diese haben sich allerdings gegenüber MV1 in einigen Punkten geändert. Der neue Eigenschaftsdialog ist in Abbildung 77 zu sehen. Er erscheint sowohl beim Hinzufügen eines neuen, als auch beim Bearbeiten eines bereits vorhandenen Objekts.

- Weggefallen ist die Zuordnung eines Datensatzes. Die Zuweisung individueller Werte an Objekte geschieht jetzt über „individuelle Größen“, deren Werte im Modelleditor festgelegt, aber mit dem Objekt gespeichert werden (siehe Abschnitt ad).
- Das Konzept der „erforderlichen Größen“, die verwendet wurden, um eine Beziehung zwischen der Simulation und den Größen im Diagramm herzustellen (vergleiche 2.3.1.4ah), wurde ebenfalls aufgegeben. Stattdessen ist es nun möglich, individuell für jedes Objekt beliebige Größen aus dem Modell für die entsprechenden Zwecke zu verwenden.
 - „Position“ und „Richtung“ sind geblieben und müssen jeweils mit einer vektoriellen Größe bestückt werden.
 - Die bisherige „Ausdehnung“ heißt jetzt „Größe“. Diese Bezeichnung wurde bisher vermieden, um Verwechslungen mit dem Größenbegriff der Systemdynamik zu vermeiden, für die Schüler scheint er aber intuitiv nahe liegender zu sein.
 - Hinzugekommen ist die „Rotation“. Damit ist eine Drehung um den Richtungsvektor gemeint, der als Winkel angegeben wird und daher eine skalare Größe erfordert.

Objekteinstellungen bearbeiten			
Objektname: Auto			
<	Modell: Kreis		>
<	Zeichnung: PKW		>
<	Rot: 100	> < Grün: 200	> < Blau: 100
<	Position: Position	> < Größe: Größe	>
<	Richtung: Geschwindigkeit	> < Rotation: <Leer>	>
Abbrechen		Übernehmen	

Abbildung 77: Eigenschaften eines Objekts in MV2. Der Datensatz aus MV1 entfällt, dafür können jetzt die bisherigen „erforderlichen Größen“ flexibel zugeordnet werden.

- Hinzugekommen ist (wie bereits thematisiert) die Möglichkeit, jedem Objekt einen beliebigen Namen zu geben.
- Wie auch in anderen Bereichen der Version 2 wird die Farbe des Objektes nicht länger durch ihren Namen, sondern durch einen RGB-Wert angegeben.

b) Simulationsbereich

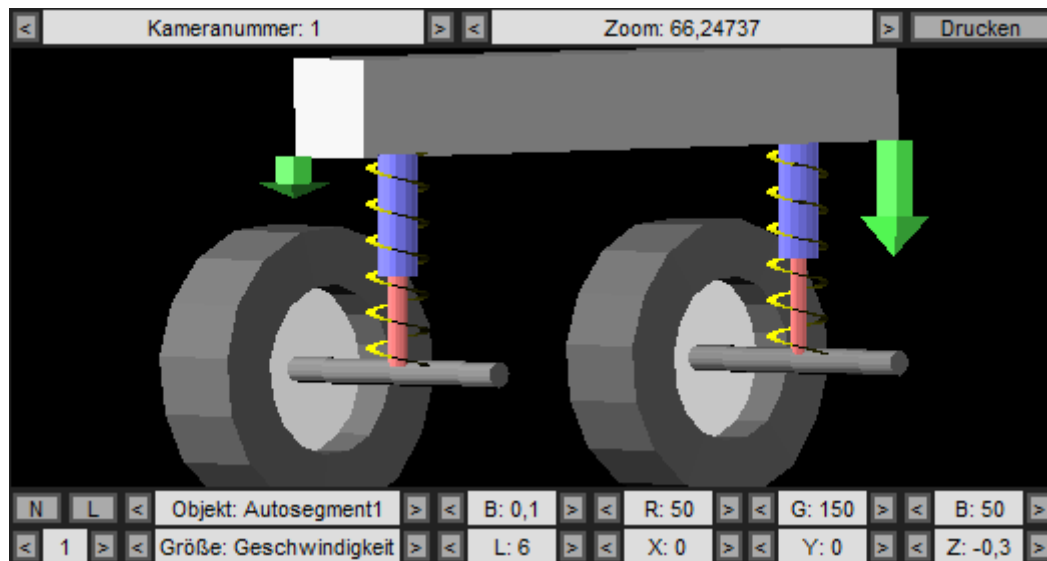


Abbildung 78: Simulationsbereich in MV2. Auffälligste Neuerung ist die perspektivische Darstellung. In der Vektorverwaltung am unteren Rand wurde eine Möglichkeit zur expliziten Vektorverwaltung hinzugefügt, die Farbwahl auf RGB-Werte umgestellt und eine relative Verschiebung des Vektors ermöglicht. Am oberen Rand werden nun die Kameranummer sowie der aktuelle Zoomfaktor gewählt.

Die auffälligste Änderung im Simulationsbereich ist zweifellos die perspektivische Darstellung. In der Arbeitsgruppe wurde dieses Thema lange diskutiert, da einerseits - wie in Abschnitt 2.3.1.6bd) erörtert - diese Darstellungsform häufig nachgefragt wurde und viele sinnvolle Möglichkeiten bietet, andererseits aber auch einige berechtigte Bedenken dagegen vorgebracht wurden. Die Entscheidung, nun doch den Simulationsbereich vollständig auf die „dreidimensionale“ Darstellung umzustellen, wird im Folgenden erläutert und begründet.

ba) Perspektivische Darstellung

- Das gewichtigste Gegenargument bestand darin, dass die perspektivischen Verzerrungen den Schülern das Beobachten der exakten räumlichen Beziehungen der Objekte zueinander erschweren könnten. Dieser Nachteil kann dadurch aufgehoben werden, dass eine zusätzliche Kameraperspektive eingerichtet wird, in welcher die Kamera sehr weit von der zu beobachtenden Szene entfernt positioniert und ein entsprechend großer Vergrößerungsfaktor gewählt wird. Dies führt zu einem näherungsweise parallelen Strahlenverlauf, sodass beinahe keine störenden Verzerrungen mehr zu beobachten sind (siehe Abbildung 79).
- Eine weitere Schwierigkeit war zu bedenken: Die schulische Hardware weist nur selten aktuelle Grafikkarten auf, und die Systeme sind nur selten mit Systembibliothe-

ken zu 3D-Darstellung (wie etwa DirectX³⁶) ausgerüstet. Es wurde daher keine der vorgefertigten Bibliotheken verwendet und auch keine spezielle Hardware vorausgesetzt. Stattdessen wurde ein vollkommen eigenständiges 3D-Modul entwickelt und in die Software integriert, welches keinerlei besondere Anforderungen an die Grafikhardware stellt.

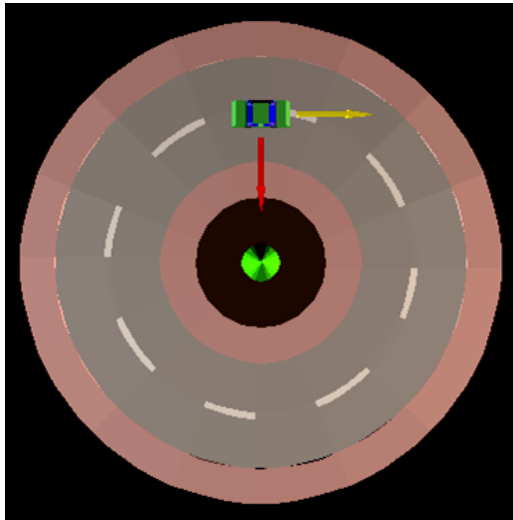


Abbildung 79: Beinahe zweidimensionale Darstellung in MV2. Ist die Kamera sehr weit entfernt und der Zoomfaktor entsprechend groß, sind die Verzerrungen zu vernachlässigen.

- Ein weiteres Gegenargument war die Intention aktueller 3D-Bibliotheken, möglichst fotorealistische Szenen zu erzeugen, was als didaktisch problematisch einzustufen ist (vergleiche Abschnitt 2.1.3.2). Das selbst entwickelte Modul beschränkt sich jedoch auf eine sehr schematische, vereinfachende Darstellung, die keinerlei Assoziation mit einem realen Film aufkommen lassen sollte, aber ausreicht, die räumlichen Gegebenheiten besser einzuschätzen.

Die Umstellung auf perspektivische Darstellungen erfordert unter anderem, zusätzlich zu Objekten auch Lichtquellen einzuführen, welche eine Szene erst sichtbar machen, sowie Kameras, welche Position und Blickrichtung des Betrachters festlegen (siehe hierzu Abschnitt ab). Folgerichtig entfallen im Simulationsbereich alle Bedienelemente, welche bisher für Perspektive und Kameraposition verantwortlich waren. Stattdessen ist es nun möglich, über eine Leiste am oberen Rand des Bereiches eine der definierten Kameras auszuwählen (und damit zugleich ein ganzes Bündel von Einstellungen) sowie den Zoomfaktor einzustellen.

Aufgrund einiger programminterner Strukturänderungen ist es nun auch möglich, mehrere Simulationsbereiche anzulegen, welche dieselbe Szene zeitgleich aus verschiedenen Perspektiven darstellen. Beispielsweise könnte man bei einer mit dem Lenkrad ge-

³⁶ DirectX ist eine Schnittstelle für Microsoft® Windows®, welche einen direkteren Zugriff auf die Hardware ermöglicht, um bestimmte Vorgänge zu beschleunigen. Interessant in diesem Zusammenhang ist die Schnittstelle Direct3D, welche die Möglichkeiten aktueller Grafikkarten ausnutzt, eigenständig perspektivische Darstellungen zu berechnen.

steuerten Autofahrt einerseits die Fahrerperspektive, andererseits eine Übersicht aus der Vogelperspektive zeigen.

bb) Vektorverwaltung

Unspektakulärere Änderungen haben sich im Bereich der Vektorverwaltung für die weiterhin vorhandene Benutzerleiste am unteren Rand des Bereichs ergeben.

- Zunächst wurde die Konvention des „Verwaltungsbereichs“ übernommen: Das Erzeugen neuer Vektoren, sowie das Löschen vorhandener, geschieht jetzt über eigens dafür vorgesehene Schalter mit den Beschriftungen „N“ und „L“.
- Aus Platzgründen sind auch die meisten Auswahlfelder nun mit einzelnen Buchstaben beschriftet. Mit den Feldern „B“ und „L“ werden Breite und Längenmaßstab des Vektors angegeben.
- Die Farbe des Vektors wird nun auch als RGB-Wert angegeben, nahe liegender Weise sind die entsprechenden Felder mit „R“, „G“ und „B“ benannt.
- Schließlich sind noch drei Koordinaten „X“, „Y“ und „Z“ anzugeben. Durch diese wird eine Verschiebung des Vektors gegenüber dem Mittelpunkt des Bezugsobjektes festgelegt. Die Verschiebung erfolgt relativ zur Vektorrichtung, welche als x-Richtung festgelegt ist.
- Ein eigener Schalter zum Speichern der Vektoreinstellungen entfällt. Die Vektoren werden mit allen anderen Daten zusammen in der Komponentendatei abgelegt.

Die Vektorpfeile selbst werden auch als perspektivische Körper in das dargestellte Szenario integriert. Ihre Zeichnung kann bei Bedarf auch geändert werden.

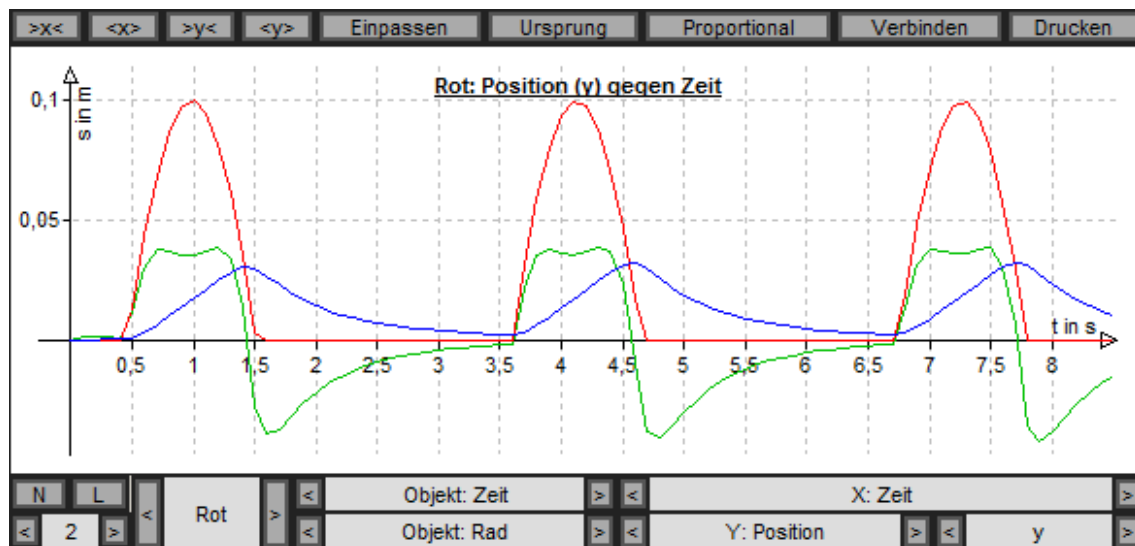
c) **Diagrammbereich**

Abbildung 80: Diagrammbereich in MV2. Die Datenreihenverwaltung am unteren Rand wurde um die Möglichkeit des direkten Erzeugens und Löschens von Datenreihen nach der neuen Konvention erweitert. Die Benutzerleiste zur Anpassung der Darstellung wurde an den oberen Rand verlegt. Ansonsten weist dieser Bereich gegenüber MV1 keine wesentlichen Änderungen auf.

Der Diagrammbereich hatte sich in der bestehenden Form in Version 1.0.5 bereits bewährt und wurde daher nicht wesentlich geändert. Lediglich einige kleinere Korrekturen an den Benutzerleisten wurden vorgenommen.

- Die Schalterleiste mit Funktionen zum Skalieren, Verbinden der Punkte und Drucken wurde aus Gründen besserer Übersichtlichkeit an den oberen Rand verlegt.
- Die Leiste zur Verwaltung der Datenreihen wurde - wie zuvor die Vektorverwaltung des Simulationsbereichs - an die veränderten Konventionen angepasst. So wurden die Schalter „N“ und „L“ hinzugefügt, um explizit neue Datenreihen hinzuzufügen oder vorhandene zu löschen.
- Außerdem wurde auch der Schalter zum Speichern der Datenreihen überflüssig, da auch diese in die Komponentendatei integriert wurden.

Ansonsten entsprechen alle Funktionen noch denen des entsprechenden Bereichs in MV1, die in Abschnitt 2.3.1.2c) beschrieben sind.

d) Interaktionsbereich

Der Interaktionsbereich in MV1 hat sich im Praxiseinsatz in mehreren Bereichen als relativ ineffizient erwiesen und wurde daher gründlich überarbeitet.



Abbildung 81: Linker Interaktionsbereich in MV2. Die beiden hier gezeigten Teile sind normalerweise übereinander angeordnet. Der obere (hier linke) Teil dient zur Steuerung des Ablaufs, zum Wechsel zwischen Aufnahme und Wiedergabe sowie zum Löschen der Aufnahme. Der untere (hier rechte) Teil enthält eine Auswahl von vorkonfigurierten und mit Namen versehenen Darstellungsvarianten, sowie die Möglichkeit, den Bearbeitungsmodus ein- und auszuschalten.

- So bot der bisherige Interaktionsbereich am linken Rand der Komponenten unter anderem für jeden einzelnen Kernbereich einerseits Schalter zum Ein- und Ausblenden des Bereichs, andererseits Schalter zum Aktivieren und Deaktivieren des Bearbeitungsmodus für diesen Bereich. Dieses Konzept wurde nun wie folgt überarbeitet:
 - Es gibt nur noch einen zentralen Bearbeitungsmodus, der für die gesamte Komponente gilt und über einen Schalter ganz unten im Interaktionsbereich aktiviert oder deaktiviert werden kann (siehe Abbildung 81 rechts). Damit werden in allen Bereichen die Benutzerleisten zur Bearbeitung ein- und ausgeblendet.
 - Ansonsten können für jede Komponente so genannte *Darstellungsvarianten* definiert werden (siehe hierzu Abschnitt 2.3.2.3). Diese können mit beliebigen (sinnvollerweise selbsterklärenden) Namen belegt werden und bestimmen für alle definierten Kernbereiche (Simulationsbereiche Diagrammbereiche, Modelleditor und noch einige weitere), ob diese sichtbar sind und wie sie relativ zueinander angeordnet sein sollen. Die aktuell aktive Variante wird farblich hervorgehoben.
- Den Platz am linken Rand teilt sich diese Schalterleiste nun mit einem weiteren, neuen Steuerelement, das in Abbildung 81 auf der linken Seite abgebildet ist. Es besteht aus sieben Schaltern, welche mit Symbolen versehen sind, die dem Bedienfeld von Hifi-Geräten und Videorecordern nachempfunden wurden. Gerade Schülern sind diese Symbole in hohem Maße bekannt und vertraut. Die Belegung der Schalter ist in Tabelle 3 genau aufgeführt. Aktive Schalter werden farblich hervorgehoben. Das Bedienfeld führt Funktionen zusammen, die vorher teilweise im Interaktionsbereich und teilweise in der Benutzerleiste des Simulationsbereichs zu finden waren.
- Des Weiteren hinzugekommen ist eine Reihe von Elementen im Kopfbereich, die je nach Konfiguration nicht alle vorhanden sein müssen. Der mittlere Teil des Kopfbereiches ist in Abbildung 82 zu sehen und enthält einige Einstellungen und Interaktionselemente:








Schalter	Name	Funktion
	Aufnahme	Aktiviert den Aufnahmemodus. Alle dynamischen Vorgänge werden dann direkt anhand der definierten physikalischen Modelle berechnet und in eine temporäre Aufzeichnungsdatei geschrieben.
	Wiedergabe	Aktiviert den Wiedergabemodus. Alle dynamischen Vorgänge werden dann anhand der Werte rekonstruiert, welche in der Aufzeichnungsdatei gespeichert wurden.
	Pause	Hiermit können Aufnahme oder Wiedergabe angehalten und wieder fortgesetzt werden. Dieser Schalter entspricht dem bisherigen Schalter „Start / Stopp“.
	Autoreverse	Schaltet den Autoreverse-Modus ein und aus. Ist er aktiviert, beginnt die Wiedergabe am Ende der Aufzeichnung wieder von vorne, sonst wird die Pause aktiviert.
	Anfang	Setzt den Zeitverlauf der Aufnahme oder Wiedergabe auf den Anfang zurück. Eine bestehende Aufzeichnung wird dabei nicht gelöscht.
	Ende	Springt ans Ende einer Aufzeichnungsdatei. Die Funktion kann sowohl im Aufnahme-, als auch im Wiedergabemodus eingesetzt werden.
	Löschen	Löscht die aktuelle Aufzeichnungsdatei und setzt die Uhr zurück. Ist der Wiedergabemodus aktiv, wird automatisch in den Aufnahmemodus geschaltet.

Tabelle 3: Interaktionselemente zur Steuerung von Aufnahme und Wiedergabe in MV2. Die Interaktionselemente sind Bedienelementen von Hi-Fi-Geräten und Videorecordern nachempfunden und damit für Schüler intuitiv relativ gut bedienbar.

- Die obere Zeile enthält Auswahl- und Eingabefelder mit Einstellungen, die in MV1 in der Eigenschaftenseite „Iteration“ zu finden waren: Zeitfaktor, Iterationsmodus, Zeitintervall und Iterationsalgorithmus. Erklärt sind diese Funktionen in Abschnitt 2.3.1.3a).
- Darunter befindet sich ein Schieber, welcher den aktuellen Zeitablauf zeigt. Dabei entspricht die ganze Breite des Schieberbereichs immer der Gesamtlänge der bisherigen Aufzeichnung, die Position des Schiebers dem aktuellen Zeitpunkt. Während einer Neuaufnahme steht der Schieber daher immer am Ende, am Zusammenrücken der Skalenstriche ist aber die sich ändernde Skalierung zu erkennen. Im Wiedergabemodus wandert der Schieber entsprechend dem Zeitverlauf über den Schieberbereich.

- Sowohl während der Aufnahme als auch bei der Wiedergabe kann der Benutzer jederzeit den Schieber an eine beliebige Position verschieben. Die gesamte Komponente wird dann in den Zustand versetzt, als sei genau diese Zeit seit dem Start des Vorgangs vergangen, einschließlich der Diagramme. Während der Aufnahme bewirkt ein Versetzen des Schiebers, dass die Aufzeichnung an der entsprechenden Stelle fortgesetzt wird; bereits vorhandene, aufgezeichnete Werte werden dabei nur gelöscht, sofern sie mit neuen Werten überschrieben werden. Das Konzept kann verglichen werden mit einem Analogen Tonband, an dem man an eine bestimmte Stelle „spult“ und dort Aufnahme oder Wiedergabe betätigt.

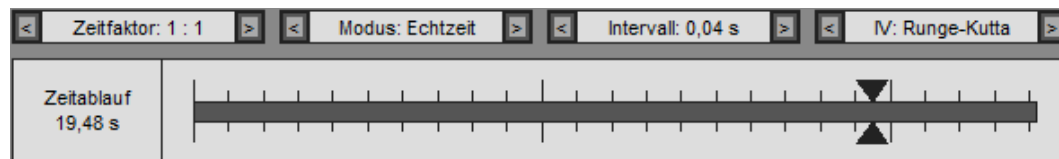


Abbildung 82: Bedienelemente im mittleren Kopfbereich in MV2. Es werden Einstellungen zur Verfügung gestellt, die in MV1 in der Eigenschaftenseite „Iteration“ zu finden waren, sowie ein Schieber, der zuvor im Simulationsbereich während der Wiedergabe zur Verfügung stand.

- Schließlich gibt es an den Rändern des Kopfbereichs noch zwei neue Anzeigeelemente, die ebenfalls nicht in jeder Darstellungsvariante vorhanden sein müssen. Sie sind in Abbildung 83 zu sehen.

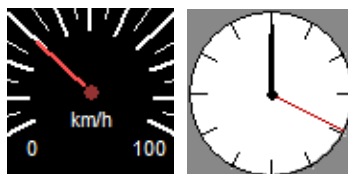


Abbildung 83: Anzeigeelemente an den Rändern des Kopfbereichs in MV2. Das linke Element stellt ein tachometerartiges Anzeigegerät dar, das etwa Geschwindigkeiten oder Drehzahlen ausgeben kann. Das rechte ist eine analoge Stoppuhr, welche die vergangene Zeit während eines simulierten Ablaufs anzeigt.

- Am rechten Rand ist eine Analoguhr dargestellt. Diese zeigt die aktuelle vergangene Zeit während einer Simulation an. Die Zeit entspricht genau der, welche auch vom Schieber daneben angezeigt wird.
- Am linken Rand können ein oder mehrere Analoganzeigen dargestellt werden, welche dem Tachometer in Kraftfahrzeugen nachempfunden sind. Sie können die Werte beliebiger Größen innerhalb der aktuellen Modelle ausgeben. Gedacht sind sie natürlich für Geschwindigkeit oder Drehzahl.

2.3.2.3 Konfiguration und Anpassung

Die Möglichkeiten zur Konfiguration und Anpassung an gegebene Ziele und Rahmenbedingungen in MV2 weisen kaum noch Gemeinsamkeiten mit Version 1.0.5 auf.

- So wurde das Konzept der Eigenschaftenseiten vollständig aufgegeben. Viele Funktionen, welche zuvor über diese Seiten erreichbar waren, sind nach der neuen Konzeption verzichtbar geworden.
 - Dazu gehören alle Einstellungen zur Sichtbarkeit einzelner Bereiche (da dieses Konzept durch die Darstellungsvarianten ersetzt wurde),
 - die Frage nach der Änderbarkeit dieser Bereiche (da diese über den zentralen Bearbeitungsmodus geregelt wird),
 - die speziellen Einstellungen für einzelne Komponenten (da es keine eigens programmierten Komponenten mehr gibt), sowie
 - die Auflistung der Namen aller relevanten Dateien (da es nur noch eine einzige Datei für alles gibt).

Andere Funktionen wurden in die Benutzeroberfläche oder in die Menüleiste integriert. Dazu gehören

- Die Einstellungen für die Iteration in der Kopfleiste und
- die Wahl des Farbschemas im Menü.
- Auch das Konzept der vielen einzelnen Dateien für die verschiedenen Zwecke wurde ersetzt. Es gibt jetzt nur noch eine einzige, universelle Komponentendatei, die alles enthält, was für eine Komponente von Belang ist. Die genauen Bestandteile sind in Abschnitt 2.3.2.1b) aufgeführt. Jede mögliche Änderung oder Anpassung an Lernziel oder Lerngruppe wird in dieser Datei abgelegt. Wird diese an die Schüler weitergegeben und von diesen geöffnet, erscheint immer die richtige Komponente in der richtigen Konfiguration, da es keine weiteren Speicherorte für relevante Daten gibt.
- Für die allermeisten Einstellungen und Daten sind in MV2 bereits Möglichkeiten integriert, um diese direkt aus der Oberfläche heraus zu verwalten und zu bearbeiten, wie in Abschnitt 2.3.2.2 ausführlich dargestellt. Für einige weitere gibt es Zugriffsmöglichkeiten über die *Menüleiste*, welche in Abschnitt a) besprochen wird. Lediglich zwei Bereiche sind noch nicht durch Bedienelemente direkt änderbar: *Zeichnungen* und *Darstellungsvarianten*. Sie müssen vorerst in einem externen Editor bearbeitet werden, was in Abschnitt b) thematisiert wird.

a) Verwendung der Menüleiste

Bisher wurden Eigenschaftenseiten deshalb eine relativ große Bedeutung gegeben, weil sie sowohl in ActiveX[®]-Komponenten als auch in EXE-Dateien mit gleichem Layout und Funktionsumfang realisierbar sind. Nachdem das ActiveX-Konzept nun aufgegeben wurde, können mehr Funktionen direkt in die Menü-Leiste integriert werden, die sich bei jedem Windows[®]-Programm am oberen Fensterrand befindet. Die Hauptmenüpunkte sind in Abbildung 84 zu sehen.



Abbildung 84: Menüleiste in MV2. Nach dem Wegfall der Eigenschaftenseiten sind mehr Einstellungen und Funktionen im Menü zu finden.

- Das Menü `Datei` bietet Funktionen
 - zum Erstellen einer neuen Komponente (alle geladenen Daten und Einstellungen werden aus dem Speicher entfernt),
 - zum Öffnen und Speichern von Komponentendateien (siehe Abschnitt 2.3.2.1b),
 - sowie zum Beenden des Programms.
- Das Menü `Import` dient allgemein zum Importieren von Daten aus anderen Dateien, welche in die Komponente integriert werden sollen. Die Importfunktionen lassen sich in drei Gruppen einteilen:
 - Unter `Aufzeichnungen` besteht die Möglichkeit, die während einer Simulation erzeugten, temporären Aufzeichnungsdateien zu exportieren oder vorhandene zu importieren. Mit dieser Funktion könnte man beispielsweise eine Autofahrt über einen vorgegebenen Parcours mit Lenkrad und Pedalen anschließend als Datei speichern und an andere weitergeben, die sich die Fahrt auf ihrem Computer anschauen und diese auswerten.
 - Die Bündelung der ehemaligen Einzeldateien zu einer Universaldatei könnte leicht den Nachteil mit sich bringen, dass bereits fertig gestellte Teile einer Komponente in neuen Komponenten nicht wiederverwertet werden können. Um dies zu verhindern, lassen sich Modelle, Tabellen, Objekte, Kameras, Lichtquellen, Zeichnungen und Darstellungsvarianten aus vorhandenen Komponentendateien importieren und weiterverwenden.

- Um die Kompatibilität zur Version 1.0.5 zu wahren und bereits erstellte Modelle oder Tabellen weiter nutzen zu können, gibt es auch für diese Dateiformate eine Importfunktion. Vorhandene Zeichnungen sind aufgrund der Umstellung von 2D auf 3D leider nicht mehr verwendbar.
- Im Menü *Format* sind einige Einstellungen zu finden, welche das Erscheinungsbild der Darstellung beeinflussen:
 - Zunächst kann das Farbschema eingestellt werden, was bisher über die Eigenschaftenseite „Allgemein“ erfolgte (siehe Abbildung 31).
 - Des Weiteren kann jetzt zentral die Schriftart und die Schriftgröße festgelegt werden, welche von der Komponente verwendet wird. Auf diese Weise lässt sich auch bei Monitoren oder Videoprojektoren mit hoher Auflösung eine lesbar große Schrift erzielen.
 - Im Menü *Sprache* steht bisher nur Deutsch zu Auswahl. Da die Software in Version 1.0.5 schon jetzt über Ländergrenzen hinweg verbreitet ist, wurde für die Zukunft eine Möglichkeit zur Internationalisierung bereits angelegt. Abhängig von der Nachfrage sollen dann weitere Sprachen eingebunden werden.

b) *Bearbeitung der Komponentendatei*

Fast alle wichtigen Funktionen sind bereits über die Benutzeroberfläche verfügbar. Was noch fehlt, sind Editoren für eigene Zeichnungen und Darstellungsvarianten.

Im Verzeichnis *Vorlagen* befindet sich die Datei *Standard.mv2*. Diese enthält eine Reihe von Vorlagen, unter anderem eine Auswahl von Zeichnungen für die verschiedensten Zwecke, von einfachen Objekten wie Kugeln, Quadern, Zylindern oder Kegeln über Federn und Kolben bis zu Häusern, Bäumen, Straßen und Fahrzeugen. Diese können einfach - wie in Abschnitt a) beschrieben - in die aktuelle Komponente importiert und verwendet werden.

Zukünftig wird auch ein Editor für eigene Zeichnungen integriert. Bis dahin muss der Benutzer die Zeichnungen erstellen, indem er die Komponentendatei in einem externen Editor bearbeitet. Aufgrund der Dreidimensionalität der Darstellung haben sich natürlich gegenüber MV1 auch die Zeichenbefehle geändert.

Schwerpunkt *x; y; z*

Polygon [*Farbe*] *x₁; y₁; z₁ | x₂; y₂; z₂ | ... | x_n; y_n; z_n*

Quader [*Farbe*] *x₁; y₁; z₁ | x₂; y₂; z₂*

Kugel [*Farbe*] *x₁; y₁; z₁ | x₂; y₂; z₂*

Kreis [*Farbe*] *x₁; y₁; z₁ | x₂; y₂; z₂ | x_R; y_R; z_R*

Zylinder [*Farbe*] *x₁; y₁; z₁ | x₂; y₂; z₂ | x_R; y_R; z_R*

Kegel [*Farbe*] *x₁; y₁; z₁ | x₂; y₂; z₂ | x_R; y_R; z_R*

```
Ring [Farbe] x1; y1; z1 | x2; y2; z2 | x3; y3; z3 | x4; y4; z4 |
      xR; yR; zR
```

```
Feder [Farbe] x1; y1; z1 | x2; y2; z2
```

Bei den aufgelisteten Befehlen gilt wieder die Konvention, dass kursiv gedruckte Buchstaben und Wörter durch entsprechende Werte ersetzt werden sollen. *x*, *y* und *z* sind immer als dreidimensionale Koordinaten oder Richtungen gemeint.

- Begonnen wird jede Zeichnung, die sich unterhalb der Hauptüberschrift „ZEICHNUNGEN“ befinden muss, mit dem Zeichnungsnamen, eingerahmt in zwei senkrechte Striche, etwa „| PKW |“.
- Der Schwerpunkt, der vorher automatisch immer im Koordinatenursprung lag, kann nun frei gewählt werden.
- Polygone sollten nicht zu groß sein, sich nicht schneiden und jeweils mit allen Punkten in einer Ebene liegen.
- Die (optionale) Angabe eine Farbe folgt jetzt folgenden Regeln:
 - Vorangestellt wird entweder ein „#“, wenn das Zeichnungsobjekt undurchsichtig sein soll, oder ein „*“, wenn eine Überlagerung mit dahinter liegenden Objekten durchgeführt werden soll. Dadurch lässt sich beispielsweise bei der Darstellung von Glasscheiben eine Transparenz simulieren.
 - Der Farbwert selbst wird als RGB-Wert angegeben. Die einzelnen Werte müssen zwischen 0 und 255 liegen, ganzzahlig sein und durch Semikola getrennt werden.
 - Zur Abtrennung gegen die folgenden Koordinatenangaben dient ein „|“.
 - Wird keine Farbe angegeben, erhält das Zeichnungsobjekt die Farbe, welche für das Objekt angegeben ist.
- Für Kugel, Quader, Kreis, Zylinder, Kegel und Feder gilt, dass durch die Koordinaten der Punkte 1 und 2 gegenüberliegende Ecken angegeben werden sollen, sodass eine Raumdiagonale aufgespannt wird.
- Für Ring gilt das gleiche, zusätzlich definieren die Punkte 3 und 4 die Raumdiagonale des inneren Zylinders.
- Die Koordinaten *x_R*, *y_R* und *z_R* legen die Richtung des Zeichenobjektes fest, die parallel zu einer der Koordinatenachsen liegen muss.

Für die *Darstellungsvarianten* gilt das gleiche wie für die Zeichnungen: Eine Reihe von Varianten sind bereits in der Datei `Standard.mv2` enthalten und können importiert werden. Für das Erstellen eigener Darstellungsvarianten wird es in absehbarer Zeit einen komfortablen Editor geben. Solange ist dies über eine direkte Bearbeitung der Komponentendatei möglich, was in der Hilfedatei ausführlich dokumentiert ist, hier aber nicht näher ausgeführt wird. Wenn möglich sollte die Fertigstellung des Editors abgewartet werden, da dieser massive Erleichterungen bringen wird.

2.3.2.4 Besonderheiten des Objekt- und Modelleditors

Die Version 2.0.0 der Lernsoftware „Mechanik und Verkehr“ unterscheidet sich von Version 1.0.5 in eine Reihe von Bereichen. Als wichtigste sind zu nennen

- die perspektivische Darstellung im Simulationsbereich,
- zahlreiche Anpassungen von Aufbau und Bedienung aufgrund der gewonnenen Erfahrungen im Praxiseinsatz in der Schule,
- Änderungen der Programm- und Dateistruktur zu Erhöhung der Kompatibilität mit an Schulen verbreiteter technischer Infrastruktur, sowie
- die Erweiterung der Möglichkeiten beim Umgang mit physikalischen Modellen und Objekten. Dieser letzte Punkt wird in diesem Abschnitt noch einmal aufgegriffen.

Zu diesem Zweck werden die wichtigsten Änderungen kurz zusammengefasst und jeweils begründet.

- Der Objektbegriff wurde erweitert und modifiziert. Zusätzlich zu den bisherigen Objekten zählen nun auch statische Gegenstände, sowie Kameras und Lichtquellen zu den Objekten. Diese Verallgemeinerung soll die Struktur übersichtlicher, konsequenter und nachvollziehbarer machen, die Bearbeitung eigener Szenarien in einem einzigen Werkzeug zentralisieren, und natürlich den Anforderungen der perspektivischen Darstellung Rechnung tragen.
- Datensätze werden nun nicht mehr getrennt behandelt, sondern sind Bestandteil jedes Objektes. Hierzu wurden die so genannten „individuellen Größen“ eingeführt. Wird diesen im Modelleditor ein Wert zugewiesen, gilt dieser nur für das aktuelle Objekt. Dies soll einerseits die Arbeitsabläufe der Schüler (durch die Vermeidung externer Editoren) vereinfachen und potentielle Fehlerquellen minimieren, andererseits soll es die intuitiv meistens gewählte Problemlösungsstrategie unterstützen, Wertänderungen direkt im Modell vorzunehmen.
- Die „erforderlichen Größen“ werden nicht länger mit festen Namen belegt, sondern können in den Objekteigenschaften fest zugewiesen werden. Dies macht die Schüler freier in der Modellgestaltung, Gewohnheiten und Konventionen aus dem Unterricht können einfach übernommen werden.
- Die Benennung der Raumrichtungen wurde konsequent an die in Schulen üblichen Konventionen angepasst: Die y-Richtung zeigt jetzt nach oben, die z-Richtung vom Betrachter weg.
- Die Beschriftung der Symbole der Flussdiagramme wurde übersichtlicher gestaltet. Insbesondere stehen die Koordinaten von Vektorgrößen jetzt als Matrix untereinander, was das Ablesen wesentlich vereinfacht.
- Werden Symbole mit Werten beschriftet, ändern sich diese nun mit dem Verlauf der Simulation. Auf diese Weise ist es möglich, jederzeit und exakt den aktuellen Wert

jeder Größe abzulesen, um ihn etwa mit analytischen Berechnungen oder Messwerten aus Realexperimenten zu vergleichen.

- Die Möglichkeiten der Referenzgrößen wurden wesentlich erweitert. Welche Möglichkeit von einer Referenzgröße genutzt wird, ist am Aussehen des Symbols zu erkennen. Die Symbolvarianten sind in Abbildung 85 zu sehen.



Abbildung 85: Varianten der Referenzsymbole in MV2.

Die Spitze deutet an, wo sich die referenzierte Größe befindet.

- Wie bisher ist es möglich, Größen in anderen Teilmodellen zu referenzieren. Dabei wurde aber die Vorgabe aufgehoben, dass nur das direkt über- oder untergeordnete Subsystem zugelassen ist, da diese Einschränkung den komplexen Wechselwirkungen der Teilsysteme in aktuellen technischen Geräten nicht gerecht zu werden scheint. Die Relation der Modelle in der Hierarchie wird aber weiterhin durch die Spitze (wie bei den linken beiden Symbolen) angedeutet.

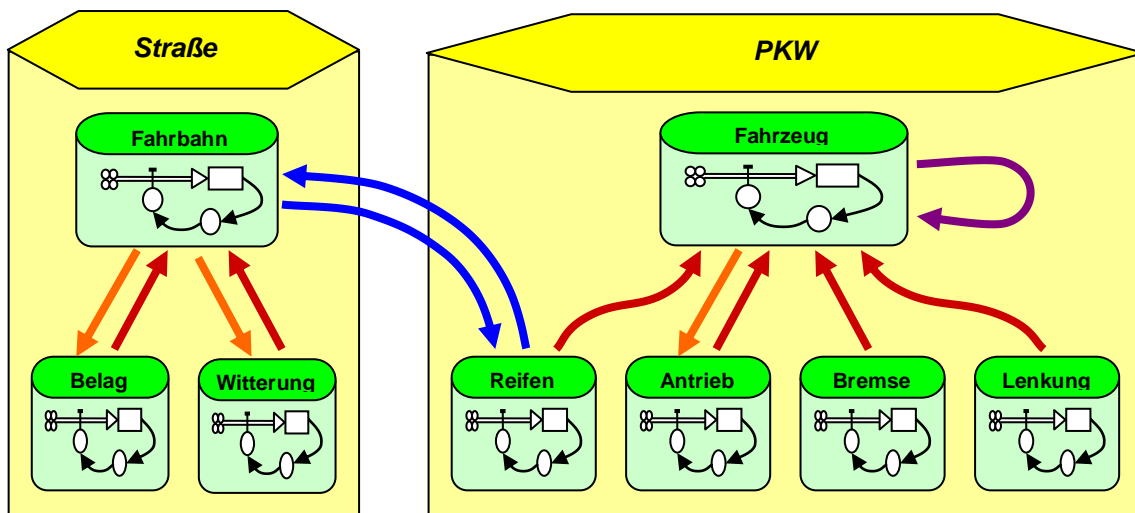


Abbildung 86: Beziehung von Objekten, Modellen und Referenzen in MV2. Die gelben Kästen symbolisieren Objekte, die grünen Kästen darin enthaltene Modelle. Die vertikale Anordnung stellt die Hierarchie der Teilmodelle dar, Begriffe wie „übergeordnet“ und „untergeordnet“ beziehen sich auf diese Relation. Die Pfeile zeigen an, dass Größen referenziert werden, wobei die Pfeilrichtung von der Quellgröße zur Referenzgröße weist. Rot Pfeile deutet an, dass sich die referenzierte Größe in einem untergeordneten Teilmodell befindet, orangefarbene in einem übergeordneten, blaue in einem externen und violette intern im selben Teilmodell.

- Es ist außerdem jetzt zulässig, eine Größe innerhalb des gleichen Teilmodells zu referenzieren. Dies ist dann sinnvoll, wenn eine einzelne Größe mit sehr vielen anderen verknüpft ist, deren Symbole aber über das ganze Flussdiagramm verteilt sind. Um sich nicht durch zu viele kreuz und quer verlaufende Zuordnungspfeile die Übersicht zu nehmen, kann dann eine „Kopie“ der Größe in Form einer *internen Referenz* (rechtes Symbol) erzeugt werden.

- Als wichtigste Neuerung ist es schließlich möglich, Größen in anderen Objekten zu referenzieren. Das Objekt wird dabei explizit mit seinem Namen angegeben. Wird die Referenz als individuelle Größe festgelegt, kann dieser Name aber bei jedem konkreten Objekt anders lauten. Wenn beispielsweise ein Fahrzeug mit vier Stoßdämpfern simuliert werden soll, wobei jeder Stoßdämpfer ein eigenes Objekt bildet, könnten die Modelle der vier Stoßdämpfer jeweils Masse und Position unterschiedlicher Fahrzeugbereiche abfragen. *Externe Referenzen* werden durch das zweite Symbol von rechts dargestellt.

Die Relation von Objekten, Hauptmodellen und Untermodellen sowie die verschiedenen Arten von Referenzen werden in Abbildung 86 zusammenfassend veranschaulicht.

2.3.2.5 Kritische Gesamtbewertung von Version 2.0.0

Mit Version 1.0.5 der Software „Mechanik und Verkehr“ war es bereits gelungen, eine Reihe von Möglichkeiten graphischer Modellbildungssysteme und interaktiver Computersimulationen zusammenzuführen. Dabei wurde zugleich versucht, die Modellbildungssprache zur Lösung physikalischer Probleme zu optimieren, bekannte Schwächen verfügbarer Produkte zu beseitigen, neue, strukturelle Ideen einfließen zu lassen und thematisch den Straßenverkehr als Lebensweltbezug in den Mittelpunkt zu rücken. Dies ist in vielen Bereichen gelungen, im Praxiseinsatz in der Schule wurden aber doch noch einige Probleme beobachtet, wie in Abschnitt 2.3.1.6 dokumentiert.

a) *Realisierte Möglichkeiten in Version 2.0.0*

Die Version 2.0.0 wurde vom Autor in der Absicht angefertigt, möglichst alle im Unterricht beobachteten Schwächen zu beseitigen und möglichst viele der Ideen aus der Arbeit mit Schülern und Lehrern umzusetzen. Dabei wurden insbesondere folgende Bereiche angegangen:

- Zur Minimierung bekannter Probleme mit schulischer Hard- und Software wurde
 - das ActiveX[®]-Konzept aufgegeben,
 - auf Registry-Einträge bei der Freischaltung verzichtet,
 - das Konzept der Kommandozeilenparameter aufgegeben,
 - der Inhalt von 9 verschiedenen Dateien in eine universelle Komponentendatei zusammengeführt, sowie
 - der erforderliche Dateizugriff auf die Komponentendatei und die temporäre Aufzeichnungsdatei beschränkt.

Dadurch sollte nun

- die Installation einfacher und sogar vermeidbar,
- die Arbeit ohne Administratorrechte möglich,
- die gemeinsame Nutzung über einen zentralen Server realisierbar und

- die Kompatibilität mit proprietären Schülerüberwachungssystemen größer sein.
- Zur Verbesserung der Bedienung und der Übersichtlichkeit der Darstellung wurde
 - die umfangreiche linke Interaktionsleiste durch Darstellungsvarianten ersetzt,
 - ein zentrales, graphisches Bedienfeld zur Aufnahmesteuerung eingeführt,
 - die Verwaltung von Vektoren und Diagrammreihen überarbeitet,
 - ein Kopfbereich mit zusätzlichen Bedienelementen eingerichtet,
 - der Objekt- und Modelleditor vollkommen neu gestaltet,
 - die Wertanzeige in Flussdiagrammen verbessert und dynamisiert,
 - ein komfortabler Tabelleneditor mit Diagrammanzeige hinzugefügt,
 - die erforderlichen Größen frei definierbar gemacht und
 - das Konzept der Datensätze durch individuelle Größen ersetzt.

Damit sollte es jetzt möglich sein,

- die Komponenten effizienter und intuitiver zu bedienen,
- dadurch die Unterrichtszeit für Einarbeitung und Problemlösung zu reduzieren,
- den Weg bis zum funktionierenden Modell weiter zu verkürzen,
- dadurch die Anfangsmotivation der Schüler bis zum Ziel aufrecht zu erhalten,
- und die Verzahnung mit parallelen Realexperimenten zu verbessern.
- Auf vielfachen Wunsch und nach langer Überlegung wurden
 - die Simulationen auf perspektivische Darstellungen umgestellt,
 - in diesem Zusammenhang Kameras und Lichtquellen eingeführt,
 - hierzu die Verwendung des Objektbegriffs inhaltlich ausgedehnt und
 - der Modelleditor um die Möglichkeit erweitert, ganze Szenarien zu erstellen.

Somit können jetzt

- Komponenten, in denen Fahrzeuge gelenkt werden sollen, durch die Fahrerperspektive leichter und intuitiver bedient werden,
- dreidimensionale Probleme anschaulicher dargestellt werden, sowie
- Lehrer und Schüler eigene Szenarien, zum Beispiel zur Unfallrekonstruktion, besser und schneller realisieren,
- Zur weiteren Optimierung der Modellbildung wurden
 - Referenzierungen über Objektgrenzen hinaus ermöglicht,
 - interne Referenzen eingeführt und
 - die Regeln für die Referenzierung gelockert.

Auf diese Weise sollte

- die Arbeit mit Modellen und Untermodellen vereinfacht,

- die Übersichtlichkeit komplexer Modelle weiter erhöht, sowie
- durch die objektübergreifenden Referenzen ein völlig neues Problemfeld erschlossen werden, da nun
- Vorgänge mit mehreren beteiligten Körpern elementar modelliert werden können.

b) Verbleibende Grenzen in Version 2.0.0

Zunächst bleiben zwei Einschränkungen, die aufgrund des Entwicklungsaufwandes noch nicht angegangen wurden:

- Es gibt noch keinen Editor für eigene Zeichnungen.
- Es existiert noch keine Möglichkeit, einfach eigene Komponenten und Darstellungsvarianten zusammenzustellen.

Für beides sind zurzeit noch ein Texteditor und viel Mühe erforderlich. Dieser Mangel wird aber in naher Zukunft behoben werden.

- Es steht außerdem noch aus, weitere internationale Sprachen zu ermöglichen.
- Sinnvoll wäre außerdem, die Importfilter so zu erweitern, dass auch Dynasys[®]-Dateien gelesen und geschrieben werden können. Hierzu müssten allerdings noch einige lizenzrechtliche Fragen mit dem Autor geklärt werden. Der Reiz bestünde aber darin, beide Programme wirklich parallel einzusetzen und bereits entwickelte Modelle nach kleinen Modifikationen direkt im je anderen Programm nutzen zu können.

Welche weiteren Probleme sich beim Praxiseinsatz im Unterricht ergeben werden, ist vom Autor zurzeit noch nicht abzuschätzen. Vorhersehbare Probleme wurden soweit wie möglich vermieden. Alles andere wird sich zeigen, wenn die Software mit ihren neuen Möglichkeiten in ein erweitertes Unterrichtskonzept eingebunden, dieses wiederum erprobt und evaluiert wurde. Nach den bisherigen Beobachtungen und Ergebnissen zu urteilen, scheint dieser Aufwand aber potentiell lohnenswert zu sein.

3 Konzept für den Physikunterricht

In diesem Kapitel geht es um ein Konzept für den Physikunterricht, welches vom Autor erarbeitet, exemplarisch in Form einer Unterrichtsreihe über ein bestimmtes Thema konkretisiert und an mehreren Schulen realisiert wurde. Wesentliche Bestandteile des Unterrichtskonzeptes sind die Anwendung der in Kapitel 2 vorgestellten Lernsoftware und die Ausrichtung auf den Kontext Straßenverkehr.

Zunächst werden in den Abschnitt 3.1 die didaktischen Ansätze dargestellt, die in das Konzept eingeflossen sind, sowie strukturelle und inhaltliche Prinzipien, welche bei der Ausgestaltung der Unterrichtsreihe angewandt wurden. In Abschnitt 3.2 wird das eigentliche Unterrichtskonzept vorgestellt. Die Konkretisierung für einen bestimmten physikalischen Lerninhalt - die Einführung der geradlinigen Bewegung - sowie die praktische Durchführung dieser Unterrichtsreihe wird in Abschnitt 3.3 dargestellt und in Abschnitt 3.4 kritisch reflektiert.

3.1 Theoretischer Hintergrund

Das im Folgenden (Abschnitt 3.2) vorgestellte Unterrichtskonzept ist natürlich keine vollständige Neuentwicklung, sondern baut auf teilweise langjährig bewährten, teilweise aktuelleren methodischen und inhaltlichen Konzepten - die zum Teil für die spezielle Zielsetzung angepasst wurden - sowie auf den Ergebnissen verschiedener empirischer Studien auf. Die besonderen Charakteristika des vorgestellten Konzeptes ergeben sich durch die Auswahl und Kombination dieser Grundlagen, die Ergänzung durch eigene Ideen des Autors, sowie durch die Besonderheiten des gewählten thematischen Rahmens.

In den folgenden Abschnitten werden die zugrunde liegenden Ansätze dargestellt, die jeweiligen Hintergründe erläutert und die Auswahl begründet.

3.1.1 Problemorientiertes Lernen

3.1.1.1 Fachsystematischer Ansatz

a) Fachsystematische Unterrichtsgestaltung

Klassischerweise orientiert sich der Physikunterricht an der Sachstruktur des thematisierten Lerninhalts innerhalb der akademischen Fachdisziplin: Bei der unterrichtlichen Aufarbeitung eines Themenkomplexes wird mit (nach Einschätzung des Lehrers) physikalisch elementaren und leicht verständlichen Phänomenen und Zusammenhängen begonnen, dann schrittweise Komplexität und Abstraktionsgrad der Lerninhalte gesteigert, um am Ende schließlich mit den erworbenen Kenntnissen auch anspruchsvolle Aufgaben zu lösen.

Auf diese Weise soll erreicht werden, dass die Schüler auf jeder Stufe des Lernprozesses die zum Verständnis des jeweiligen Inhalts erforderlichen Kenntnisse besitzen und so eine Erkenntnis systematisch auf der anderen aufbaut.

Beispiel: Eine Unterrichtsreihe über elektromagnetische Wellen. Zunächst könnten Spule und Kondensator in eigenen Unterrichtssequenzen untersucht und daran elektrische und magnetische Felder erarbeitet werden. Insbesondere müsste für elektrische Stromkreise, die jeweils eines der beiden Bauelemente enthalten, der zeitliche Verlauf von Stromstärke und Spannung beim Ein- und Ausschalten der Spannungsquelle untersucht und daran Felder als Energieträger erkannt werden. Danach könnte ein einfacher elektrischer Schwingkreis aus Spule und Kondensator behandelt werden, wobei der zeitliche Verlauf von Stromstärke und Spannung sowie magnetischer und elektrischer Energie besonders interessant sind. Über den Schwingkreis könnte der elektromagnetische Dipol eingeführt und darüber schließlich die Ablösung und Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen erklärt werden.

b) Grenzen des fachsystematischen Ansatzes

Der fachsystematische Ansatz soll nun keineswegs prinzipiell verworfen werden. Dennoch gibt es einige Entwicklungen, die sich (auch) im Physikunterricht beobachten lassen und denen mit diesem Ansatz nur schwer zu begegnen ist.

- Die grundlegenden fachlichen Inhalte, welche nach dem fachsystematischen Ansatz zu Beginn eine Unterrichtsreihe behandelt werden, sind zwar relativ leicht verständlich. Sie werden aber von den Schülern oft als relativ uninteressant und wenig nützlich eingeschätzt, zumal oft das Ziel der Unterrichtsreihe nach dieser Systematik für die Schüler nicht erkennbar und der Stellenwert einzelner Zwischenziele innerhalb des vom Lehrer geplanten Lernweges nicht offensichtlich ist. Werden die Lerninhalte aber als uninteressant und wenig nützlich eingeschätzt, kann das einen negativen Einfluss auf die Lernmotivation haben.

- Wenn dann am Ende die eigentlich spannenden und nützlichen Inhalte behandelt werden, weist der Kenntnisstand vieler Schüler oft bereits große Lücken auf, so dass die eigentlich entscheidenden Erkenntnisse und Anwendungen nicht mehr nachvollzogen werden können.
- Aktuelle Studien (zum Beispiel TIMMS 2001) behaupten außerdem, dass die Schüler Schwierigkeiten haben, ihre Fachkenntnisse zum Lösen unbekannter Probleme zu nutzen. Dies lässt sich unter anderem dadurch erklären, dass das Lösen von Problemen nach dem fachsystematischen Ansatz meist nur in Übungsaufgaben gefragt ist, wo die Schüler durch geschickte Strategien oft auch ohne echte, auf Verständnis beruhende Lösungsansätze zum Ziel kommen.

3.1.1.2 Problemorientierter Ansatz

a) *Problemorientierte Unterrichtsgestaltung*

Wie der Begriff bereits nahe legt, ist beim problemorientierten Ansatz der Unterricht auf ein Problem hin ausgerichtet, das am Anfang einer Unterrichtseinheit steht und das im Verlauf des Unterrichts gelöst werden soll. Diese Idee hat sehr viele didaktische und methodische Ansätze beeinflusst und ist in vielen Empfehlungen und praktischen Hilfestellungen in unterschiedlicher Form wieder zu finden. Insbesondere sind auch einige der so genannten *Artikulationsschemata* für die Unterrichtsplanung auf den problemorientierten Ansatz hin ausgerichtet, wie zum Beispiel anhand des Stufenschemas der forschend-entwickelnden Unterrichtsmethode gezeigt werden kann (siehe Tabelle 4).

Andere problemorientierte Methoden setzen andere Schwerpunkte und kommen dadurch zu anderen Ausdifferenzierungen der einzelnen Artikulationsstufen, die teilweise konkret als zeitlich aufeinander folgende Unterrichtsphasen, teilweise abstrakter als Stufen eines Erkenntnisprozesses verstanden werden. Für die nachfolgenden Überlegungen wird nun aber keine der konkreten Unterrichtsmethoden weiter verfolgt. Vielmehr geht es darum, die entscheidenden Charakteristika herauszustellen, welche die problemorientierten Ansätze gemeinsam haben:

- Die fachsystematische Gliederung des Unterrichts wird in soweit durchbrochen, als ein komplexes Problem am Anfang einer Unterrichtseinheit steht, das nicht unmittelbar lösbar ist.
- Das Ziel, welches die Schüler subjektiv verfolgen, ist die Lösung des Problems. Der Erwerb von inhaltlichen und methodischen Kenntnissen und Fertigkeiten innerhalb des Faches geschieht sozusagen „nebenbei“.
- Die entscheidende Aufgabe des Lehrers besteht darin, die Schüler zur Erkenntnis des Problems hinzuführen („Problemgewinnung“), sodass sie es zu ihrem Problem machen, und sie bei der - möglichst eigenständigen - Lösung zu unterstützen.

Artikulationsstufe	Denkphase
1. Problemgewinnung	1.1 Problemgrund 1.2 Problemfindung 1.3 Problemformulierung
2. Planung der Lösung	2.1 Problemanalyse 2.2 Lösungsvorschläge sammeln 2.3 Entscheidung für einen Lösungsvorschlag
3. Durchführung des Lösungsvorschlags	3.1 Planung der praktischen Tätigkeit 3.2 Durchführung 3.3 Zusammentragen der Ergebnisse
4. Abstraktion gewonnener Erkenntnisse	4.1 Bildhaft 4.2 Verbal 4.3 Symbolhaft
5. Wissenssicherung	5.1 Reproduktion 5.2 Reorganisation 5.3 Transfer

Tabelle 4: Artikulationsschema der forschend-entwickelnden Unterrichtsmethode nach Schmidkunz / Lindemann und Lindemann (frei nach SCHMIDKUNZ / LINDEMANN 1999).

Die als Beispiel angeführte Unterrichtsreihe über elektromagnetische Wellen könnte dann etwa so gegliedert werden: Am Anfang steht ein verblüffendes Experiment: Der Lehrer zeigt eine Stabantenne, die in der Mitte unterbrochen und mit einer dazwischen geschalteten Glühlampe versehen ist. In der Nähe eines geeigneten Dipols leuchtet die Glühlampe ohne Berührung aufgrund der empfangenen elektromagnetischen Wellen. Der Versuch könnte dann schrittweise analysiert, jeweils Hypothesen aufgestellt und diese durch geeignete Experimente überprüft werden. Der komplexe Aufbau würde dabei stückweise auseinander genommen und erforscht, bis am Ende auch die elementaren Gesetze entdeckt werden. Der Lehrer müsste bei Bedarf durch zusätzliche Experimente, Informationen oder Impulse den Erkenntnisfortschritt der Schüler sicherstellen.

Der problemorientierte Ansatz kann natürlich nicht nur - wie in diesem Beispiel - zur Gestaltung ganzer Unterrichtsreihen, sondern auch für kleinere Sequenzen oder einzelne Unterrichtsstunden herangezogen werden.

b) Didaktisches Potential des problemorientierten Ansatzes

Gegenüber der rein fachsystematischen Ausgestaltung des Physikunterrichts weist der problemorientierte Ansatz in didaktischer Hinsicht folgende Möglichkeiten auf:

- Die Schüler wissen von Anfang an, worauf der Lehrer in einer Unterrichtseinheit hinaus will. Sofern es dem Lehrer gelingt, durch geeignete Auswahl und Vermittlung des Problems das Interesse und die Neugier der Schüler zu wecken, wird sich dies positiv auf die Arbeitsmotivation der Schüler auswirken, da ihnen der Zweck ihres Handelns stets gegenwärtig ist.
- Durch die gemeinsame Erarbeitung und Durchführung von Strategien zur Lösung komplexer Probleme wird nicht nur kreatives und eigenständiges Denken und Handeln gefördert, sondern auch die bemängelte Fähigkeit der Schüler zur Lösung neuer, unbekannter Probleme verbessert.
- Dabei ist es durchaus erwünscht, dass auch „native“ Lösungsansätze, die nicht zur Problemlösung geeignet sind, aufgegriffen und beim Scheitern des Lösungsversuchs verworfen werden. Auf diese Weise können die Schüler ihr Vorwissen in den Unterricht einbringen und mögliche Irrtümer oder Fehlkonzepte erkennen.
- Gerade bei wiederholter Anwendung dieses Ansatzes werden auch komplexe, auf den ersten Blick scheinbar unlösbare Probleme - wie sie auch außerhalb des Unterrichts vorkommen - immer weniger bedrohlich, weil die Schüler sich bei geeigneter Anleitung nach und nach ein Repertoire von Strategien zur systematischen, eigenständigen Lösung solcher Probleme aneignen.

3.1.2 Lernen im lebensweltlichen Kontext

3.1.2.1 Idee der Kontextorientierung

a) Zu Grunde liegendes Problem

Wie empirische Studien seit vielen Jahren zeigen, gehört die Physik zu den unbeliebtesten Schulfächern, was sich unter anderem unmittelbar am Wahlverhalten der Schüler in der gymnasialen Oberstufe ersehen lässt (VOLLMER 2000). Dies ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, dass die Schüler kaum Bezüge zwischen der Physik und ihrer eigenen Lebenswelt sehen. Stattdessen gewinnen sie den Eindruck, Physik eigne sich nur zum Lösen konstruierter und lebensferner Laborprobleme und habe mit dem realen Leben nur wenig zu tun (siehe auch Kapitel 4).

b) Darstellung des Lösungsansatzes

Hier setzt das Konzept des kontextorientierten Lernens an, das unter anderem am „Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften“ (IPN) in Kiel in einem Modellprojekt mit dem Titel „Physik im Kontext“ (PiKo) ausgearbeitet und evaluiert wird.³⁷

Das Konzept beruht im Kern darauf, ein interessantes, für die Schüler bedeutungsvolles Problem aus ihrer alltäglichen Lebens- und Erfahrungswelt zum Thema des Unterrichts zu erheben. Dieses Problem wird natürlich so gewählt, dass zu dessen Lösung physikalische Kenntnisse erforderlich sind, welche im Unterricht erworben werden können und müssen.

Damit erfährt die Erarbeitung physikalischer Zusammenhänge im Unterricht eine Bedeutungsverschiebung: Sie dient nun dem Erwerb von Kompetenzen zur Lösung eines konkreten Alltagsproblems. Der Nutzen der Beschäftigung mit der Physik ist damit unmittelbar und von Anfang an einsichtig - die Vermutung, physikalisches Wissen sei im Alltag nutzlos, kann damit erst gar nicht entstehen.

Um dies zu erreichen, muss das Problem allerdings sorgfältig ausgewählt werden. Es muss einerseits die tatsächlichen Vorerfahrungen der Schüler aufgreifen und darauf aufbauen, um zu gewährleisten, dass die Schüler es in ihrer Erfahrungswelt verankern und mit ihrem Vorwissen verknüpfen können. Andererseits sollte es sich nicht um „Scheinprobleme“, sondern um interessante, motivierende Fragestellungen zu tatsächlich problematischen Gegebenheiten der realen Welt handeln, damit die Schüler bereit sind, das Problem wirklich zu *ihrem* Problem zu machen.

³⁷ Die Homepage des Projektes ist zu finden unter <http://www.uni-kiel.de/piko/index.php>.

3.1.2.2 Legitimation anhand der Lehrplans NRW

Wie auch in anderen Abschnitten sei hier zur formalen Legitimation exemplarisch der Lehrplan Physik für die Sekundarstufe II des Landes Nordrhein-Westfalen herangezogen (MSWWF-NRW 1999). Hierin werden drei „Bereiche“ hergeleitet, deren Zusammenwirken die Grundstruktur des Physikunterrichts bestimmt: „Fachliche Inhalte“, „Methoden und Formen selbständigen Arbeitens“ und das „Lernen im Kontext“. Zu dem letztgenannten Bereich heißt es unter anderem:

„Schülerinnen und Schüler lernen besonders erfolgreich, wenn Zusammenhänge mit Vorkenntnissen und Alltagserfahrungen hergestellt werden. Lernen im Kontext ermöglicht dies in besonderem Maße.

Lernen im Kontext eröffnet die Möglichkeit, komplexe, vernetzte Realitätsausschnitte zu betrachten, daraus physikalische Fragestellungen zu gewinnen, diese auf der fachlichen Ebene zu klären und die so gewonnenen Ergebnisse zur Bearbeitung der Ausgangsproblemstellung heranzuziehen. Darüber hinaus erlaubt es, u. a. auch technische, historische, philosophische und gesellschaftliche Fragestellungen aufzuwerfen und anzugehen. Wegen seiner Komplexität und seines Aspektreichtums fördert es fachübergreifendes Denken und führt somit zu einem vertieften Verständnis der Wirklichkeit.“

Sowohl der Ansatz des kontextorientierten Lernens als solcher, als auch die aufgezeigte Möglichkeit zur Umsetzung in eine grobe Unterrichtsstruktur ist mit dem hier vorgestellten Unterrichtskonzept sehr gut vereinbar.

3.1.3 *Physikalische Experimente*

Physikalische Experimente werden fast immer unter einer bestimmten Fragestellung durchgeführt. Häufig ist dabei das Ziel, eine Messgröße G_1 in Abhängigkeit von einer anderen Messgröße G_2 zu untersuchen. Hierzu ist eine Situation erforderlich, in der alle anderen Größen, die möglicherweise ebenfalls die Größe G_1 beeinflussen und somit das Ergebnis verfälschen könnten, konstant bleiben. Eine solche Situation ist in der Natur nur in seltenen Fällen unmittelbar zu finden. Sie muss daher durch planvolles Herbeiführen kontrollierter Bedingungen künstlich geschaffen werden. Eine solche, unter einer Fragestellung konstruierte Anordnung zur gezielten Beobachtung realer Vorgänge wird in der Physik als *Experiment* bezeichnet. Der Begriff hat nur wenig zu tun mit dem Alltagsverständnis, nach dem unter einem Experiment oft ein planloses Ausprobieren verstanden wird.

Wie bereits in Abschnitt 2.1.3.2 herausgestellt wurde, kommt dem Experiment im Physikunterricht eine ganz besondere Bedeutung zu. Gezielte Beobachtungen an speziellen Versuchsanordnungen bilden den entscheidenden Zugang zum eigentlichen Gegenstand der Physik, der physikalischen Realität. Jede Theorie, jedes Modell, jede Simulation muss sich an der Übereinstimmung mit den Beobachtungen an wirklichen Gegenständen messen lassen (vergleiche Abschnitt 2.1.2.1).

Den höchsten Stellenwert hat die eigenständige Beobachtung am selbst durchgeführten Experiment, da hier die vermittelnden Instanzen zwischen dem beobachtenden Subjekt und dem beobachteten Objekt minimal sind. Dabei stellen streng genommen selbst die verwendeten Geräte zur Erfassung der Messwerte möglicherweise bereits vermittelnde Instanzen dar, wenn diese stellvertretend für das Subjekt Beobachtungen am eigentlichen Gegenstand vornehmen.

Diese Art von Mittelbarkeit ist in der Physik aber schlechterdings unvermeidlich, da sie zur wissenschaftlichen Arbeitsweise der Naturwissenschaften gehört, was sich auch in Schulversuchen selbstverständlich niederschlagen darf und sollte. Die technischen Hilfsmittel sollten aber mit Bedacht eingesetzt werden.

- So sollte der technische Aufwand in einem Schulversuch stets überschaubar bleiben und nicht den Blick auf den eigentlich zu beobachtenden Gegenstand verstellen. Technisch sehr komplexe Versuchsaufbauten sind erst dann vertretbar, wenn die Schüler das Phänomen in anderen Versuchen bereits kennen gelernt und ein entsprechendes Abstraktionsniveau erreicht haben.
- Sehr wichtig ist in jedem Fall, dass die Schüler die Rolle der beteiligten Geräte innerhalb des Versuchs genau verstehen, um die Überzeugungskraft der realen Beobachtung zu erhalten. Hierzu ist es sehr förderlich, die Schüler den Versuch selbst aufbauen und durchführen zu lassen, da sie sich dann aktiv mit dem Versuchsaufbau auseinandersetzen, sowie Fehler selbst erkennen und beseitigen müssen.

- Der Unterricht sollte unbedingt auch elementare Versuche enthalten, welche eine direkte und unmittelbare Beobachtung eines Phänomens erlauben. Sehr gut geeignet sind hierzu auch Freihandversuche, für die nur einfache Mittel erforderlich sind, welche in jedem Haushalt zur Verfügung stehen und daher von den Schülern zu Hause wiederholt werden können.

Die Schüler sollen durch die (möglichst eigenständige) Durchführung von Experimenten unterschiedlicher Komplexität

- einerseits die naturwissenschaftliche Arbeitsweise des theoriegeleiteten Experimentierens kennen lernen, sowie ihre Bedeutung für den wissenschaftlichen Erkenntnisprozess verstehen. Dazu gehört auch der Erwerb von Fertigkeiten
 - im Umgang mit physikalischen Geräten,
 - bei der sorgfältigen Durchführung und präzisen Beobachtung von Versuchen,
 - sowie bei der angemessenen Formulierung und Darstellung der Ergebnisse.

Sehr wichtig ist dabei, dass die Rolle des durchgeführten Experiments im jeweiligen, wissenschaftlichen Erkenntnisprozess für die Schüler deutlich wird. Unbedingt sollte der Eindruck vermieden werden, als folge unmittelbar und zwingend ein allgemeines physikalisches Gesetz aus einer singulären Beobachtung. Ebenso darf *nicht* behauptet oder suggeriert werden, durch eine Übereinstimmung von Vorhersage und Beobachtung könne eine zuvor aufgestellte Hypothese *bewiesen* werden. Wünschenswert ist eine wissenschaftstheoretisch fundierte Einbindung der Experimente in den Unterricht im Sinne der in Abschnitt 2.1.2.1b) dargestellten Überlegungen.

- Andererseits sollen die Schüler - gerade durch die elementaren Experimente - lernen, ihre Umgebung aufmerksam zu beobachten und physikalische Phänomene auch in Gegenständen des Alltags zu entdecken. Dadurch werden die natürliche Neugier und der „Spieltrieb“ der Schüler aufgegriffen, indem sie angeregt werden, scheinbar bekannte Gegenstände des täglichen Lebens unter neuen Fragestellungen zu untersuchen, oder Phänomene daran zu beobachten, die ihnen bisher unbekannt waren und ihre gewohnten Erklärungsansätze infrage stellen.

3.1.4 Modellbildung und Simulation

3.1.4.1 Modellierung und Simulation dynamischer Systeme

In Abschnitt 2.1.2.1 wurde dargestellt, wie in der naturwissenschaftlichen Forschung der Fortschritt der Erkenntnisse gewährleistet wird (vergleiche auch Abbildung 2):

- In Experimenten werden präzise Beobachtungen durchgeführt,
- die Beobachtungen werden hypothetisch verallgemeinert (Induktion),
- in kreativen Akten werden auf dieser Basis Modelle der Wirklichkeit geschaffen,
- aus den Modellen werden Vorhersagen über Beobachtungen abgeleitet (Deduktion),
- und die Vorhersagen werden in Experimenten überprüft.

Auf diese Weise - die hier sehr vereinfacht und idealisiert dargestellt wurde - entsteht in der naturwissenschaftlichen Forschung ein immer komplexeres Gedankengebäude aus qualitativen und quantitativen Modellen, das immer wieder am Experiment geprüft und stetig verbessert wird. Die Modelle erlauben dabei zwar immer genauere Vorhersagen, bleiben aber prinzipiell immer vorläufig (POPPER 1995).

In Abschnitt 2.1.2.3 wurde der Ansatz der Systemdynamik vorgestellt. Mit dessen Hilfe lassen sich dynamische Systeme mit einer graphischen Symbolsprache modellieren, welche anschaulich die verschiedenen Arten von Größen und ihre Wechselwirkungen innerhalb des Systems darstellt, und darüber hinaus über spezielle Software quantitative Berechnungen mit diesen Modellen ermöglicht.

Die Software „Mechanik und Verkehr“ unterstützt diesen Ansatz, und bietet darüber hinaus die Möglichkeit, unter Nutzung der erstellten Modelle numerisch iterative Computersimulationen durchzuführen und dabei gleichzeitig Diagramme entstehen zu lassen, wie dies aus interaktiven Computersimulationen bekannt ist (siehe Abschnitt 2.3.1).

3.1.4.2 Bedeutung im Unterrichtskonzept

Der dargestellte, wissenschaftstheoretische Erkenntnisprozess soll im Unterricht in wissenschaftspropädeutischer Absicht nachvollzogen werden. Dabei soll den Schülern unbedingt deutlich werden, dass es sich bei einem Modell um *eine mögliche* Beschreibung eines Systems handelt, deren Gültigkeit noch dazu immer *vorläufig* bleibt.

Mit der Nutzung des Computers zur Modellbildung und Simulation wird ein aktuelles Medium der naturwissenschaftlichen Forschung in den Unterricht eingebracht. Durch die Verwendung der graphischen Flussdiagramme sollten die Zusammenhänge der Systemelemente deutlicher werden als durch die reine Verwendung von Formeln. Die Möglichkeit der animierten Simulation und der Ausgabe zeitgleich entstehender Diagramme soll außerdem der Transfer zwischen der Realbeobachtung und den verschiedenen Codierungen des beobachteten Sachverhalts erleichtern.

3.1.5 *Modularisierung des Unterrichts*

3.1.5.1 Lernmodule in der Hochschullehre

In der Hochschullehre, insbesondere in den Bachelor- und Master-Studiengängen nach internationalem Vorbild, setzen sich immer mehr modular gegliederte Lehr-Lern-Konzepte durch. Ein Lernmodul besteht aus einer oder mehreren Lernveranstaltungen sowie in der Regel zugehörigen Tutorien und Prüfungen. Es behandelt einen thematisch zusammenhängenden Komplex von Lerninhalten und bildet insofern eine relativ abgeschlossene Lerneinheit.

Die nachgewiesene Absolvierung bestimmter Module kann als Voraussetzung für die Teilnahme an anderen Modulen festgelegt werden, wenn die dort zu erwerbenden Kenntnisse für das Verständnis der neuen Inhalte erforderlich sind. Ansonsten ist den Studenten aber zumeist freigestellt, in welcher Reihenfolge sie die vorgegebenen Module durchlaufen möchten. Zum Teil besteht auch die Auswahl zwischen verschiedenen alternativen Modulen für bestimmte Lernbereiche, um bereits während des Studiums Schwerpunkte setzen zu können.³⁸ (SCHWARZ-HAHN / REHBURG 2003)

Dabei können dieselben Lehrveranstaltungen durchaus Bestandteil unterschiedlicher Module, und dieselben Module Bestandteil unterschiedlicher Studiengänge sein. Dies soll auf Seiten der Studenten unter anderem zu mehr Flexibilität der Studienplanung bei gleichzeitiger Transparenz der Anforderungen, sowie der Zusammenhänge zwischen den Veranstaltungen führen. Die Hochschulen profitieren insbesondere von Synergieeffekten bei der Mehrfachnutzung der Veranstaltungen.

3.1.5.2 Modularisierung im Physikunterricht

Eine ähnliche modulare Gliederung der Unterrichtseinheiten wurde ansatzweise auch bei der Konzeption der vorliegenden Unterrichtsreihe versucht: Die Unterrichtsstunden wurden zu Sequenzen zusammengefasst, die jeweils thematisch oder methodisch zusammengehören und relativ abgeschlossene Einheiten darstellen.

Jedes dieser Module ist nicht nur gekennzeichnet durch einen fachlichen Inhalt, sondern auch durch einen Schwerpunkt bezüglich der drei Kernbereiche (siehe Abschnitt 3.1.5). Dieser Schwerpunkt ist direkt anhand der Kurzbezeichnung des Moduls zu erkennen, die jeweils aus einem Buchstaben und einer Zahl besteht: L steht für Lebenswelt, E für (physikalische) Experimente und M für (Theorie- und) Modellbildung. Dies soll dem Lehrer, der mit dem Unterrichtskonzept arbeitet, einen Hinweis geben, was in der

³⁸ Die Module in Bachelor- und Master-Studiengängen weisen noch weitere Besonderheiten auf, wie etwa die standardisierte Leistungsbewertung und die Berücksichtigung von Vor- und Nachbereitungszeiten für die Veranstaltungen bei den Zeitbedarfsangaben. An dieser Stelle interessiert aber nur die Modularisierung in thematischer Hinsicht, die anderen Möglichkeiten werden nicht weiter verfolgt.

durchgeführten Unterrichtssequenz nach der Idee des Autors im Vordergrund steht. Für jedes Modul ist außerdem angegeben, welche Lernvoraussetzungen die Schüler erfüllen sollten, bevor die Unterrichtsstunden durchgeführt werden.

In Abschnitt 3.2.1.2 wird eine mögliche Anordnung solcher Module zu einer vollständigen Unterrichtsreihe vorgestellt und in den folgenden Abschnitten schrittweise anhand eines Beispiels weiter konkretisiert. Gegenüber der einfachen Phasierung einer konkreten Unterrichtsreihe weisen die gewählten Gliederungsprinzipien folgende Vorteile auf:

- Die Unterrichtsmodule können vom Lehrer - unter Berücksichtigung des Zeitrahmens, des schulinternen Curriculums, der Verfügbarkeit von Physik- und Computerräumen und eigenen Schwerpunkten - selbst ausgewählt und angeordnet werden.
- Der Lehrer kann einzelne Module als eigenständige Bausteine in ein bestehendes Unterrichtskonzept integrieren und dabei die angebotenen Materialien und Medien verwenden. Es wird bewusst nicht die Durchführung der gesamten vorgeschlagenen Unterrichtsreihe vorausgesetzt.

Zukünftige Erweiterungen des Unterrichtskonzeptes werden erleichtert. Es können einfach weitere Unterrichtsmodule hinzugefügt werden, die entweder zusätzliche Lerninhalte ermöglichen oder Alternativen zu bestehenden Modulen, möglicherweise mit anderen Schwerpunkten hinsichtlich der Kernbereiche, darstellen.

3.2 Entwurf eines Unterrichtskonzeptes

3.2.1 Allgemeine Konzeption

3.2.1.1 Kernbereiche des Unterrichts

In der vorangegangenen, theoretischen Überlegungen des Abschnitts 3.1 sollte deutlich geworden sein, dass drei Bereichen im Physikunterricht eine besondere Bedeutung zukommt: Dem Bezug zur Lebenswelt, den physikalischen Experimenten und der Theorie- und Modellbildung.

In dem hier vorgestellten Unterrichtskonzept werden diese Bereiche als *Kernbereiche des Unterrichts* bezeichnet. Sie bilden einerseits inhaltliche und methodische Schwerpunkte, andererseits dienen sie auch der Strukturierung des Unterrichts, wie in Abschnitt 3.2.1.2b) herausgestellt wird. Die drei Kernbereiche werden hier noch einmal kurz umrissen, voneinander abgegrenzt und als Schwerpunkt begründet.

Bezug zur Lebenswelt

Physikunterricht ist bei Schülern mehrheitlich unbeliebt. Das liegt nicht zuletzt daran, dass ohne entsprechende Anleitung offenbar nur wenige Schüler in der Lage sind, erworbene physikalische Kenntnisse mit ihrer eigenen Lebenswirklichkeit zu verknüpfen und dort sinnvoll zur Lösung von Problemen zu nutzen. Physik bleibt dann im Bewusstsein der Schüler abstrakt, lebensfern und nutzlos. Daher bildet die Lösung eines interessanten, motivierenden Problems aus der realen Lebenswelt der Schüler in diesem Unterrichtskonzept als „roter Faden“ einen Kernbereich des Unterrichts.

Physikalische Experimente

Physikalische Experimente geben dem Physiker die Möglichkeit, Fragen direkt an die Natur zu richten. Die planvolle, systematische, präzise Beobachtung am realen Gegenstand ist die wichtigste Erkenntnisquelle der Physik, der unmittelbarste Zugang zum realen Gegenstand. Diese Bedeutung des Experiments sollte im Physikunterricht unbedingt deutlich werden. Experimente bilden daher den zweiten Kernbereich des Konzeptes. Dadurch sollen die Schüler nicht nur planvolles Experimentieren und präzises Beobachten lernen, sondern auch die Lerninhalte durch aktives Tätigsein besser verinnerlichen.

Theorie- und Modellbildung

Natürlich geht das Interesse der Physiker über die bloße Beschreibung einzelner Beobachtungen hinaus. Sie entwickeln basierend auf eine Vielzahl von experimentellen Daten physikalische Modelle, welche verallgemeinernde Aussagen über physikalische Größen und deren Zusammenhänge machen. Aus diesen lassen sich dann Vorhersagen ableiten und empirisch überprüfen. Dieses Modellverständnis soll im Unterricht vermittelt und angewandt werden. Dabei soll der Computer zur graphischen Erstellung von Modellen und zur numerisch iterativen Simulation genutzt werden.

3.2.1.2 Phasierung der Unterrichtsreihe

Als nächster Schritt folgt die so genannte Phasierung, die strukturierende Einteilung des Unterrichts in inhaltlich oder methodisch zusammengehörige Einheiten. In der Reihenplanung sind diese Einheiten naturgemäß relativ groß - eine Phase erstreckt sich dann über eine oder mehrere Unterrichtsstunden. Die Phasierung von Einzelstunden (wie in Abschnitt 3.3 für alle Stunden durchgeführt) ist dagegen wesentlich kleinschrittiger.

a) Modularisierte Unterrichtsphasen

Im hier vorgestellten Unterrichtskonzept bildet jede Phase der Unterrichtsreihe ein eigenes Modul im Sinne der Darstellung in Abschnitt 3.1.5. Jedes Modul bildet eine relativ geschlossene Einheit, die bei einer Umsetzung des Konzeptes so beibehalten werden sollte. Hingegen können durchaus komplette Module ausgelassen, gegeneinander vertauscht oder gegen Module aus anderen Konzepten ausgetauscht werden. Hierbei ist natürlich zu beachten, welche Lernvoraussetzungen für das jeweilige Modul erforderlich sind und ob die Unterrichtsreihe in ihrem Gesamtverlauf noch stimmig bleibt.

b) Expliziter Bezug zu Kernbereichen

Jedes der Module bezieht sich explizit auf einen der 3 Kernbereiche. Dieser Bezug ist als Schwerpunkt zu verstehen, als eindeutige Vorgabe, was in dem jeweiligen Modul im Vordergrund stehen soll. Einige Module enthalten zusätzlich aber weitere Aspekte aus anderen Bereichen, befinden sich also eigentlich in einer Schnittmenge mehrerer Kernbereiche. In Abbildung 87 wurde versucht, die Überschneidung der einzelnen Bereiche und die Zuordnung der Module zu diesen Bereichen graphisch zu verdeutlichen.

c) Problemlösender Aufbau

Im Zentrum des Unterrichts steht ein komplexes Problem aus der Lebenswelt der Schüler, dessen Bearbeitung sich über die gesamte Unterrichtsreihe erstreckt. Das Problem wird zunächst anhand des lebensweltlichen Kontextes als solches erarbeitet, dann analysiert und in konkrete Fragestellungen für den weiteren Unterricht überführt. Diese werden zunächst in physikalischen Experimenten näher untersucht, die Experimente ausgewertet und - basierend auf den Ergebnissen - physikalische Größen definiert und Hypothesen aufgestellt. Die Erkenntnisse werden mit Hilfe der Software MV1 in graphische Modelle überführt und zur Simulation der zuvor im Experiment beobachteten Vorgänge genutzt. Die Simulationen werden mit den experimentellen Beobachtungen verglichen und die Modelle entsprechend bewertet oder angepasst. Dieselben Modelle werden dann genutzt, um eine Simulation zum ursprünglichen, lebensweltlichen Problem durchzuführen. Die Ergebnisse werden schließlich verwendet, um das Problem zu lösen und konkrete Handlungsperspektiven für die Lebenswelt abzuleiten.

Dieser geplante Ablauf ist in Abbildung 87 durch Pfeile dargestellt, bei Vertauschung einzelner Module ergeben sich entsprechende Änderungen.

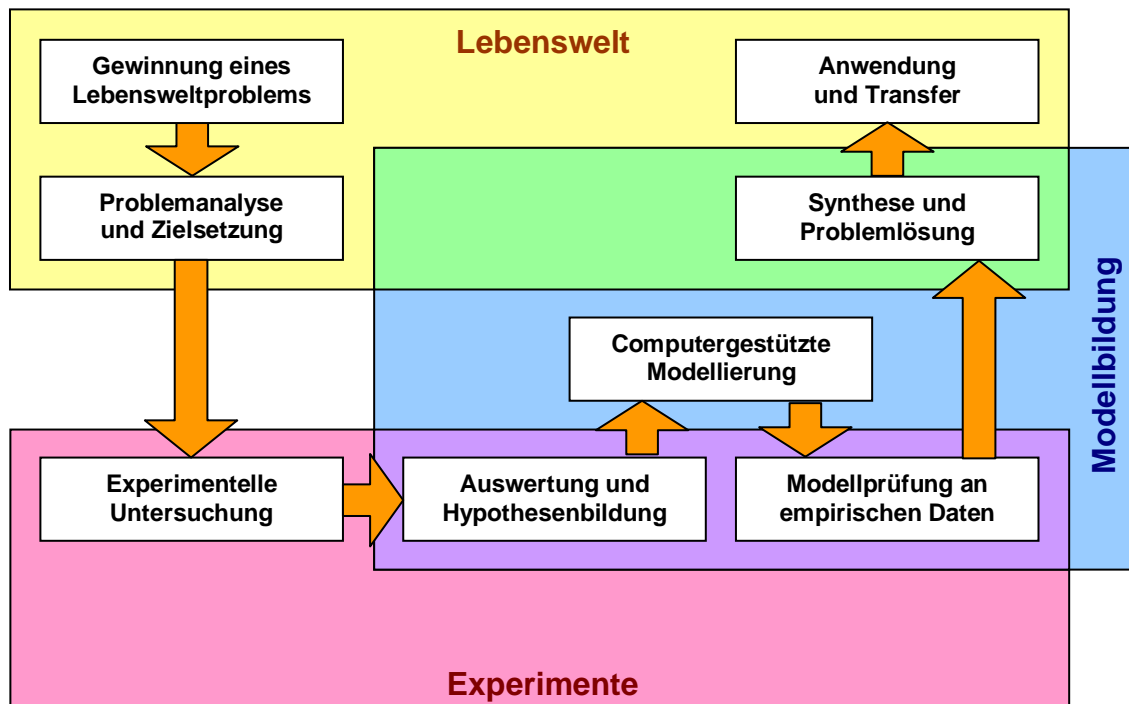


Abbildung 87: Zusammenhang der Unterrichtsmodule und ihre Zuordnung zu Kernbereichen. Die großen Kästen stehen für die drei Kernbereiche Lebenswelt (gelb), Experimente (rot) und Theorie- und Modellbildung (blau), sowie deren Schnittmengen. Die kleinen Kästen (weiß) stehen für die einzelnen Unterrichtsmodule, die Pfeile geben ihre Anordnung in der vorliegenden Unterrichtsreihe an.

3.2.2 Kontext „Teilnahme am Straßenverkehr“

3.2.2.1 Legitimation des Kontextes

a) Unfallrisiko junger Fahrenanfänger

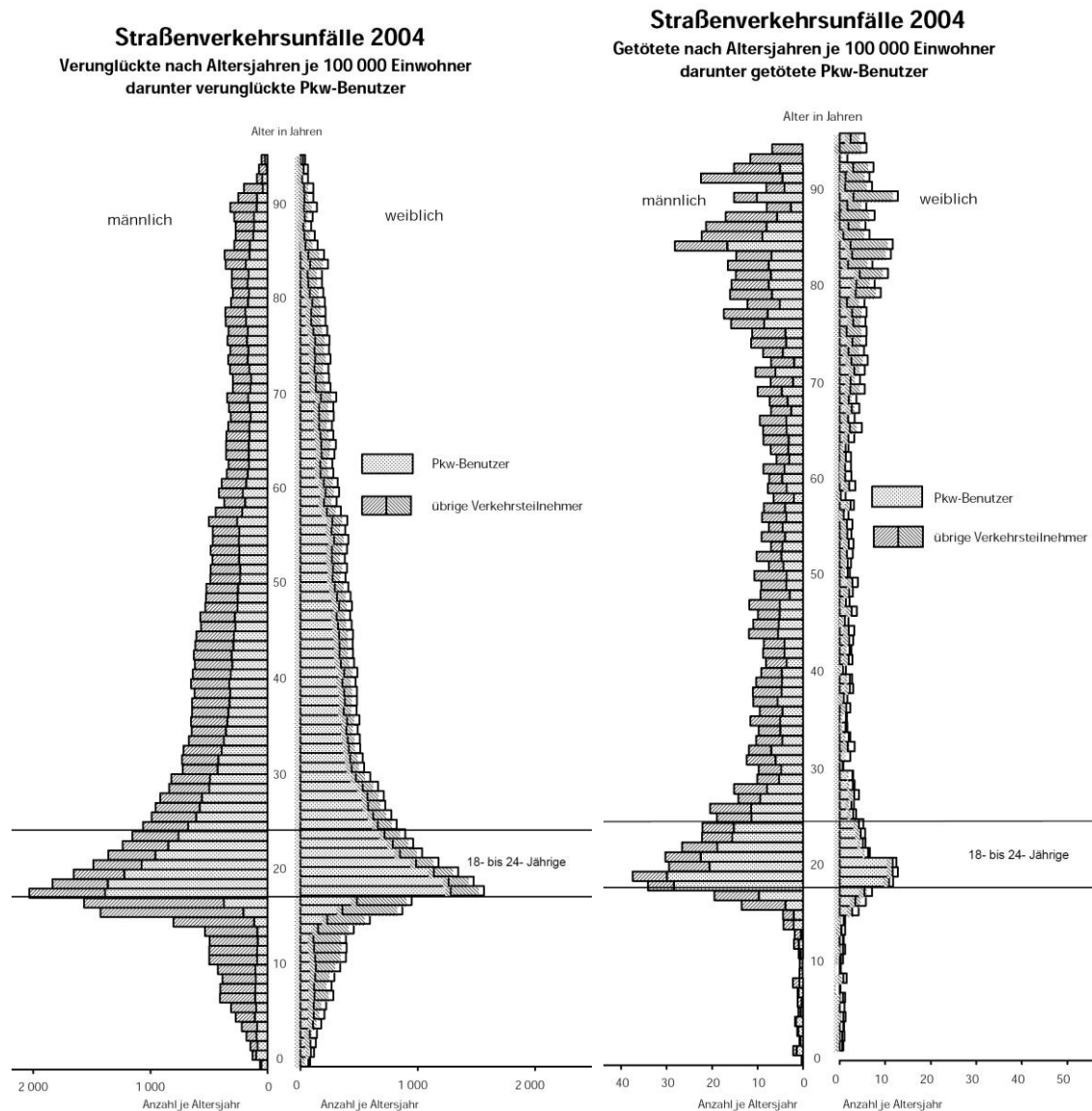


Abbildung 88: Beteiligte an Straßenverkehrsunfällen im Jahr 2004 nach Lebensalter. Im linken Bild sind die an schweren Verkehrsunfällen insgesamt beteiligten Personen aufgeführt, im rechten Bild die im Straßenverkehr getöteten. In beiden Bildern ist die Zahl der männlichen Verkehrsteilnehmer nach links, die Zahl der weiblichen nach rechts aufgetragen, jeweils aufgeteilt in PKW-Fahrer (hellgrau) und sonstige (dunkelgrau). Die Altersgruppe der 18- bis 24-jährigen ist durch zwei horizontale Linien hervorgehoben.

Junge Fahrenanfänger im Alter zwischen 18 und 24 Jahren sind überproportional häufig an schweren Verkehrsunfällen mit Toten oder Verletzten beteiligt. Wie in der graphischen Darstellung der Häufigkeitsverteilung dieser Verkehrsunfälle im Jahr 2004 durch

das Statistische Bundesamt Abbildung 88 zu sehen, gilt dies in besonderem Maße für die männlichen³⁹ Verkehrsteilnehmer, insbesondere für die Fahrer von PKW.

Ein Erklärungsversuch, was gerade diese Altersgruppe so sehr als Unfallverursacher im Straßenverkehr prädestiniert, wird in den Sachanalysen der Module L01 und L03 (Abschnitte 3.3.2.1 und 3.3.2.9) vorgebracht. An dieser Stelle soll die unfallstatistische Gegebenheit der hohen Unfallbeteiligung junger Fahrer zunächst als Legitimation des Themas „Teilnahme am Straßenverkehr“ als Kontext des Unterrichtskonzeptes dienen.

Die Konzeption ist primär zum Einsatz in der Jahrgangsstufe 11 der gymnasialen Oberstufe vorgesehen. In dieser Jahrgangsstufe sind die meisten Schüler etwa 17 Jahre alt und beginnen mit der Fahrschul Ausbildung für den Erwerb eines PKW-Führerscheins. Viele besitzen bereits eine Prüfbescheinigung für bestimmte Kleinkraftfahrzeuge oder sind als Mitfahrer älterer Freunde im PKW unterwegs. Sie gehören also genau zu der unfallstatistisch besonders gefährdeten Altersgruppe.

Es handelt sich bei dem gewählten Lebensweltbezug also nicht einfach um einen beliebigen Kontext, an dem physikalische Zusammenhänge erarbeitet werden können, sondern darüber hinaus um ein reales und hochaktuelles Problem, das die Schüler der gymnasialen Oberstufe, insbesondere der Jahrgangsstufe 11 aufgrund ihrer altersbedingten Lebensphase unmittelbar betrifft.

b) Verkehrspädagogischer Auftrag der Schule

Am 16. Februar 2004 ist eine neue Rahmenvorgabe für die Schulen des Landes Nordrhein-Westfalen⁴⁰ mit dem Titel „Verkehrs- und Mobilitätserziehung in der Schule“ in Kraft getreten (MSJK-NRW 2003). Darin wird die Verkehrs- und Mobilitätserziehung als „Aufgabe aller Schulstufen und Schulformen“ festgeschrieben, wodurch Beiträge zu den Bereichen Sicherheitserziehung, Sozialerziehung, Umwelterziehung und Gesundheitserziehung geleistet werden sollen.

Zum Bereich der Sicherheitserziehung heißt es: „Schülerinnen und Schülern sollen alle Qualifikationen erwerben, die sie für ein sicherheitsbewusstes Verhalten im Straßenverkehr benötigen. Dazu gehören das Erkennen, Beurteilen und Bewältigen spezifischer Situationen im Straßenverkehr, das Meiden oder Beseitigen von Gefahren sowie angemessenes Verhalten nach Verkehrsunfällen.“. Zum zweiten Bereich, der Sozialerzie-

³⁹ Es sei darauf hingewiesen, dass in den vorliegenden Daten des Statistischen Bundesamtes nur die absoluten Unfallzahlen erfasst wurden. Eine expositionsbezogene Erhebung der Unfallhäufigkeit (beispielsweise Verunglückte je 1.000.000 km zurückgelegter Strecke) würde möglicherweise zu anderen Häufigkeitsverteilungen führen, stand aber nicht zu Verfügung.

⁴⁰ Die meisten konkreten Bezüge zu Richtlinien, Erlassen und Verordnungen beziehen sich auf das Land Nordrhein-Westfalen, in welchem auch die vorgestellten empirischen Untersuchungen durchgeführt wurden. Für andere Bundesländer gelten in der Regel vergleichbare rechtliche Grundlagen - eine umfassende, vergleichende Recherche jedes Sachverhaltes für alle 15 Bundesländer wurde im Rahmen dieses Promotionsvorhabens jedoch nicht durchgeführt.

hung, ist zu lesen: „Schülerinnen und Schülern sollen in der Verkehrs- und Mobilitätserziehung situationsorientiertes flexibles Verhalten, Rücksichtnahme und Verzicht auf Vorrechte sowie die Antizipation der Handlungen anderer lernen.“.

In dem Runderlass werden auch konkrete, auf die jeweilige Lebensphase der Schüler bezogene „Themenkreise“ genannt, welche in den einzelnen Schulstufen behandelt werden sollen. Für die Sekundarstufe II sind unter anderem die Themen genannt, die in Abbildung 89 aufgelistet sind. Diese Vorgaben stimmen gut mit der Zielsetzung dieser Unterrichtsreihe überein, die in Abschnitt 3.2.2.2 genannt wird. Zur Umsetzung soll jede Schule eine Lehrkraft zum Verkehrssicherheitsbeauftragten ernennen, welcher für die Realisierung der genannten Ziele Sorge zu tragen hat.

Themenkreis: Gefahren und Risiken bei der Teilnahme am Straßenverkehr

- Gefährdungsfaktoren bei der Teilnahme am Straßenverkehr
 - mangelnde fahrpraktische Fertigkeiten
 - fehlende Erfahrung
 - persönliche, soziale und emotionale Gründe für risikoreiches Verhalten
 - Risiken durch überhöhte Geschwindigkeit
 - Einschränkung der sensomotorischen Leistungen durch Alkohol, Rauschgifte, Medikamente
 - verändertes Fahrverhalten durch Müdigkeit, Stimmungen, Musik
 - Grenzen der visuellen und akustischen Wahrnehmung
 - Grenzen der Fahrphysik
 - Gruppendruck

Themenkreis: Partnerschaftliches Verhalten

- Rücksichtsvolles und mitverantwortliches Verhalten und Handeln
 - Reflexion des eigenen und fremden Verkehrsverhaltens
 - Umgang mit Emotionen und Aggressionen
- Erkennen von Fehlverhalten
 - Risikobereitschaft, Imponierverhalten
 - Fehleinschätzung des eigenen fahrpraktischen Könnens
 - Nichtbeachtung anerkannter gesellschaftlicher Normen und Werte

Abbildung 89: Verkehrserziehung in der Schule. Themenkreise für die Sekundarstufe II nach der Rahmenvorgabe „Verkehrs- und Mobilitätserziehung in der Schule“ des Landes NRW.

Bezogen auf den Physikunterricht sei auf den Lehrplan für die Sekundarstufe II des Landes NRW verwiesen (MSWWF 1999). Hierin wird explizit vorgeschrieben, den Physikunterricht konsequent kontextorientiert zu gestalten. Unter den Vorschlägen für mögliche Kontexte ist für den Sachbereich „Mechanik“ in der Jahrgangsstufe 11 unter anderem die „Teilnahme am Straßenverkehr“ aufgeführt (Seite 98 des Lehrplans).

c) Verkehrsunfallprävention der Polizei

Nicht nur die Schule, auch die Polizei hat in Nordrhein-Westfalen die Aufgabe, Verkehrserziehung zu betreiben. Dies ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass die Polizei die Sicherheit der Bürger auch im Straßenverkehr gewährleisten, also aktiv zu Verhütung von Verkehrsunfällen beitragen soll. Von den Möglichkeiten der Polizei bieten sich hierfür insbesondere zwei Einflussbereiche an:

- Als *Repression* bezeichnet die Polizei in diesem Zusammenhang die Verfolgung und Sanktionierung von Verstößen gegen die Straßenverkehrsordnung sowie strafrechtlich relevanten Verhaltens im Straßenverkehr.
- Unter *Prävention* werden alle Maßnahmen gefasst, welche vorbeugend auf besonders gefährdete „Risikogruppen“ einwirken sollen, um es zu falschem Verhalten im Straßenverkehr erst gar nicht kommen zu lassen.

Zu letzterem Bereich gehören auch präventive Maßnahmen der Polizei an Schulen. Zu diesem Zwecke werden in jeder örtlichen Polizeibehörde so genannte Verkehrssicherheitsberater ernannt und durch entsprechende Fortbildungen⁴¹ für diese spezielle Tätigkeit qualifiziert. Ein Runderlass des Innenministeriums (IM-NRW 2003) konkretisiert die Anzahl, Umfang und Themen der durchzuführenden Maßnahmen in den einzelnen Schulstufen. Die Zielgruppen „Sekundarstufe II“ und die „Jungen Erwachsenen“ sind dabei sinnvollerweise einzeln erfasst, da nicht jeder junge Erwachsene noch über eine Schule erreichbar ist, die Maßnahmen und Arbeitsschwerpunkte sind für beide Zielgruppen aber annähernd identisch. In dem Runderlass heißt es:

<p>1.2 Zielgruppe Sekundarstufe II (3-Jahres-Zyklus)</p> <p><i>Themenschwerpunkte:</i> Verhaltensorientierte Fahranfängerinformationen in Zusammenarbeit mit Schulen, Betrieben, Behörden, Vereinen usw. durch</p> <ul style="list-style-type: none"> – Verkehrsaufklärung über altersspezifische Gefahren im Straßenverkehr, insbesondere Auswirkungen von Alkohol und Drogen, erhöhte Risiken durch Aggression und Imponiergehabe (4 UE á 45 min je Klasse)
<p>1.2 Zielgruppe „Junge Erwachsene“ - 18 bis 24 Jahre (1-Jahres-Zyklus)</p> <p><i>Themenschwerpunkte:</i> Verhaltensorientierte Fahranfängerinformationen in Zusammenarbeit mit Behörden, Vereinen usw. durch</p> <ul style="list-style-type: none"> – Verkehrsaufklärung über altersspezifische Gefahren im Straßenverkehr, insbesondere Auswirkungen von Alkohol und Drogen, erhöhte Risiken durch Aggression und Imponiergehabe – Darstellung der Zusammenhänge zwischen Einstellungen, Verantwortungsbewusstsein und Fahrverhalten (10 % der Jahresarbeitsleistung)

Abbildung 90: Verkehrserziehung durch die Polizei. Auszug aus den „Standards für die Verkehrserziehung und Verkehrsaufklärung der Verkehrssicherheitsberaterinnen und Verkehrssicherheitsberater der Polizei des Landes Nordrhein-Westfalen“ (IM-NRW 2003).

⁴¹ Die Fortbildungsveranstaltungen für Verkehrssicherheitsberater mit der Zielgruppe „Junge Fahrer“ werden am Institut für Aus- und Fortbildung der Polizei in Neuss durchgeführt. Seit Ende 2002 wird dabei regelmäßig ein Unterrichtstag von Herrn Dr. Bresges und dem Autor dieser Arbeit gestaltet. Dabei werden die Beamten einerseits in der Benutzung der Komponente „Anhalteweg“ der Software „Mechanik und Verkehr“ geschult, andererseits werden sie theoretisch und praktisch in ihre Rolle bei der Kooperation mit den Schulen nach dem hier vorgestellten Konzept eingewiesen.

Die Polizei ist also explizit dazu angehalten, in Kooperation mit den Schulen junge Fahrer auf ihre besondere Gefährdung im Straßenverkehr hinzuweisen und sie über besonders riskante Verhaltensweisen aufzuklären.

Traditionell beschränkte sich die Kooperation mit den Schulen allerdings meist darauf, dass Unterrichtszeit und Räume zur Verfügung gestellt wurden, in denen die Polizeibeamten mit den Schülern arbeiten konnten. Die Maßnahmen zur Verkehrserziehung durch Schule und Polizei waren kaum vernetzt. Außerdem gab es (nach Kenntnis des Autors) bis zur Aufarbeitung des Themas im Rahmen des Projektes „Mechanik und Verkehr“ (in welches auch dieses Promotionsvorhabens eingebunden ist) für die Maßnahmen der Polizei in der Sekundarstufe II kein ausgearbeitetes Konzept.

3.2.2.2 Kontextbezogene Zielsetzung

Es sollte deutlich geworden sein, dass der gewählte Kontext weit mehr Möglichkeiten bietet als die bloße Vermittlung physikalischer Grundlagenkenntnisse. Die besonderen Risiken junger Fahrer im Straßenverkehr sind ein großes, gesellschaftliches Problem, zu dessen Lösung viele Instanzen, auch Schule und Polizei, aufgerufen sind. Einen Beitrag zur Erfüllung dieses Auftrags zu leisten, ist daher ein wichtiges Ziel des vorgestellten Unterrichtskonzeptes.

Übergeordnetes Ziel des Unterrichts ist es also nicht nur, den Schülern die physikalischen und wissenschaftspropädeutischen Lerninhalte nahe zu bringen, sondern auch,

- sie für die vielfältigen Gefahren des Straßenverkehrs zu sensibilisieren und ihnen die Illusion der Kontrollierbarkeit von Verkehrssituationen zu nehmen,
- sie zur Reflexion ihrer eigenen Rolle innerhalb des Straßenverkehrs sowie ihres Verhaltens in bestimmten Situationen anzuregen,
- ihnen ihre hohe Verantwortung für sich selbst, ihre Mitfahrer und die übrigen Verkehrsteilnehmer als Fahrer eines Kraftfahrzeugs bewusst zu machen,
- ihnen Möglichkeiten aufzuzeigen, wie sie auch als Mitfahrer in potentiell gefährlichen Situationen Einfluss nehmen können
- und sie so bei ihrer Entwicklung zu mündigen, verantwortungsbewussten und rücksichtsvollen Verkehrsteilnehmern zu unterstützen.

Wie die problematischen Verhaltensweisen im Straßenverkehr zu erklären sind, wie eine Einflussnahme mit dem Ziel der Verhaltensänderung möglicherweise gestaltet werden könnte, ob der Physikunterricht hierzu überhaupt geeignet ist und welche konkrete Rolle er bei dieser übergeordneten Zielsetzung spielen kann, wird in Abschnitt 3.2.2.3 thematisiert.

3.2.2.3 Verhalten im Straßenverkehr

a) *Neurobiologischer Hintergrund*

Jeder weiß aus seiner eigenen Erfahrung, dass aus dem Wissen um das, was richtigerweise zu tun und zu lassen wäre, nicht notwendig ein entsprechendes Verhalten resultiert. Im Straßenverkehr gilt dies in besonderem Maße. Die meisten Verkehrsteilnehmer missachten mit Regelmäßigkeit eine Vielzahl von Regeln, von denen sie rational genau wissen, dass sie eigentlich richtig sind.

Diese Tatsache legt einen näheren Blick auf die Mechanismen nahe, nach denen der Mensch als aktiver Beteiligter am Straßenverkehrsgeschehen Entscheidungen trifft und Handlungen ausführt. Hierzu ist das so genannte „Drei-Gehirne-Modell“ („Triune Brain Concept“, siehe LAMBERT 2003) hilfreich, welches das menschliche Gehirn (stark vereinfacht) in drei verschiedene funktionale Bereiche gliedert, die in Abbildung 91 anhand eines Schnittbildes dargestellt sind.

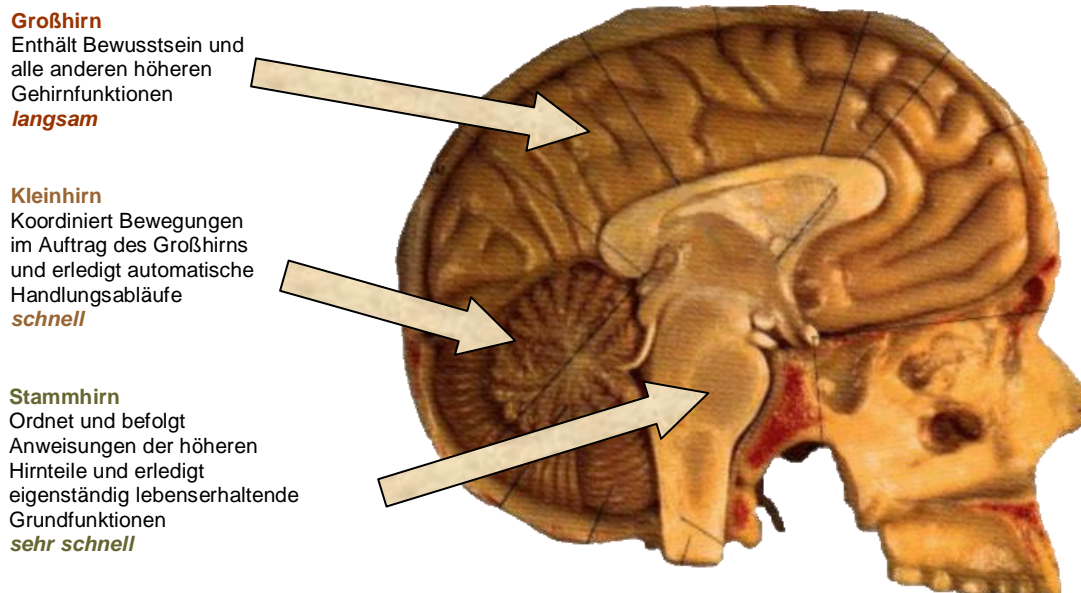


Abbildung 91: Drei-Gehirne-Modell. Das Bild (Quelle: siehe Abbildungsnachweis in Abschnitt 5.1.2) zeigt einen Längsschnitt durch einen menschlichen Schädel. Deutlich zu erkennen ist das Stammhirn, welches an das Rückenmark anschließt, das daran angelagerte Kleinhirn, sowie das oberhalb befindliche Großhirn.

■ *Stammhirn*

Dies ist der evolutionsbiologisch älteste Teil des Gehirns und ähnelt in seiner Funktionsweise daher sehr den Gehirnen niedriger entwickelter Wirbeltiere. Es erledigt einen Großteil der grundlegenden, lebenswichtigen Körperfunktionen wie Atmung, Verdauung oder Reflexe voll automatisiert. Das Stammhirn ist einerseits sehr reaktionsschnell, da es direkt mit dem Rückenmark verbunden ist, andererseits ist es praktisch nicht bewusst kontrollierbar und wird in starkem Maße von Affekten und Anregungszuständen des Körpers beeinflusst.

- **Kleinhirn**

Das Kleinhirn weist relativ starke Verknüpfungen mit dem Stammhirn auf und ist daher ebenfalls noch relativ reaktionsschnell. Es kann aber nicht nur einfache Grundfunktionen erledigen, sondern ist in der Lage, sehr komplexe Aufgaben zu übernehmen. So ist das Kleinhirn etwa dafür zuständig, bei motorischen Bewegungen die Koordination aller beteiligten Muskeln zu übernehmen, so dass sich insgesamt ein flüssiger Bewegungsablauf ergibt. Die Funktionen des Kleinhirns sind nicht angeboren, sondern werden erlernt. Wenn also etwa ein Kind laufen lernt, geschieht nichts anderes, als dass sich im Kleinhirn neue Funktionen ausbilden. Da das Kleinhirn relativ stammhirnnah ist, wird es ebenfalls stark von Affekten und Anregungszuständen beeinflusst.

- **Großhirn**

Im Großhirn sind das Bewusstsein und alle höheren Gehirnfunktionen lokalisiert. Hier können rationale Überlegungen angestellt oder moralische Entscheidungen getroffen werden, es ist für Sprache und für Erinnerungen zuständig, es ist vermutlich Träger der Persönlichkeit und in bekannt hohem Maße lernfähig. Das Großhirn ist der evolutionsbiologisch jüngste Teil des Gehirns und vom Stammhirn am weitesten entfernt. Daher ist es in seiner Reaktion auch relativ langsam, eine bewusste Entscheidung durch das Großhirn kann etwa 1 bis 2 Sekunden in Anspruch nehmen. Dafür kann es aber nahezu beliebig komplexe Aufgaben übernehmen.

Relevant unter der hier betrachtete Fragestellung ist insbesondere das Zusammenspiel zwischen diesen drei Instanzen: Wenn etwa ein Mensch eine Treppe hinauf geht, entscheidet er das (möglicherweise) mit seinem Großhirn und gibt die Information über die beabsichtigte Richtung und Geschwindigkeit der Bewegung an das Kleinhirn weiter. Dieses setzt die makroskopische Bewegung in genau aufeinander abgestimmte Bewegungen von hunderten von Muskeln um, wie es dies in frühen Kindesjahren gelernt hat. Diese konkreten Einzelbewegungen werden schließlich an das Stammhirn weitergegeben und von diesem in Nervenimpulse umgesetzt.

Diese Arbeitsteilung hat einerseits die Funktion, das Großhirn von einfachen Aufgaben zu entlasten. Dies stellt man beispielsweise fest, wenn man eine neue Tätigkeit, etwa das Spielen eines Musikinstrumentes lernt: Solange man sich auf jeden einzelnen Griff und jede Note konzentrieren muss, lässt das Ergebnis meist zu wünschen übrig. Wenn durch jahrelange Übung nach und nach immer mehr Abläufe vom Kleinhirn übernommen wurden, hat das Großhirn genügend Kapazitäten frei, um sich mit Feinheiten des Klangs oder des Ausdrucks zu beschäftigen.

Andererseits ist das Großhirn aufgrund seiner Arbeitsgeschwindigkeit auch für viele Aufgaben kaum geeignet. Dies stellt man - womit die eigentliche Fragestellung wieder aufgegriffen wird - beispielsweise beim Autofahren fest: Ein Fahrschüler muss mit dem relativ langsam arbeitenden Großhirn jeden einzelnen Handgriff bewusst planen und

durchführen. Das komplexe Geschehen im Straßenverkehr erfordert aber mitunter sehr schnelle Entscheidungen - Bruchteile einer Sekunde können über Leben und Tod entscheiden. Mit zunehmender fahrpraktischer Erfahrung übernimmt das Kleinhirn daher immer mehr Aufgaben, sowohl bei der Bedienung des Fahrzeugs, als auch bei der reaktionsschnellen „Beurteilung“ von Verkehrssituationen.

Hier liegt aber gerade das entscheidende Problem: Ist der beschriebene Zustand erreicht, beschränkt sich das Großhirn vermutlich darauf, (wie beim Treppensteigen) dem Kleinhirn mitzuteilen, welche Strecke gefahren werden soll und überlässt die Umsetzung den eingeübten Automatismen. Da das Kleinhirn aber stammhirnnah und damit anfällig für Einflüsse durch Emotionen oder Anregungszustände ist, kann die Ausführung der Handlungen durchaus von im Großhirn verankerten, rationalen Prinzipien abweichen. Gerade wenn der Fahrer gedanklich mit anderen Dingen als dem Straßenverkehr beschäftigt ist, können affektive Einflüsse - etwa der momentane emotionale Zustand oder ein Gespräch mit den Mitfahrern - für ein Fahrverhalten sorgen, das der Fahrer bewusst und rational so nicht planen würde. Sein Kleinhirn befindet sich in einem Flusserlebnis, welches von der Großhirntätigkeit weitgehend entkoppelt ist.

b) Psychologischer Hintergrund

Neben dem biologischen kann auch ein psychologischer Ansatz zur Erklärung eigentlich irrationalen Verhaltens im Straßenverkehr unter Verknennung objektiver Risiken herangezogen werden.

- So spielt nach Musahl der Effekt der *negativen Verstärkung* eine entscheidende Rolle: In Bezug auf den Straßenverkehr hat jeder Verkehrsteilnehmer immer wieder mit Ankündigungen von unangenehmen Folgen seiner Handlungen zu tun - die in Wahrheit aber fast immer ausbleiben. So kündigt die Polizei teilweise drastische Strafen für Übertretungen der Straßenverkehrsordnung an, kann aber nur einen verschwindenden Bruchteil der Verstöße tatsächlich ermitteln und verfolgen. Von Verkehrssicherheitsexperten werden schwerwiegende Unfälle als Folge überhöhter Geschwindigkeiten angekündigt - auch diese finden (verglichen mit der Anzahl unfallfreier Fahrten) nur mit einer verschwindend geringen Häufigkeit statt. Der Effekt der negativen Verstärkung führt nun dazu, dass genau die Handlung, für welche die negativen Folgen angekündigt wurden, mit jedem Ausbleiben der unangenehmen Folge verstärkt und somit wahrscheinlicher wird (MUSAHL 1997).
- Ein weiteres Problem ist die *kausale Verknüpfung* von Handlung und Strafe: Bei der Verfolgung von Ordnungswidrigkeiten ist es üblich, erst nach Wochen schriftliche Verwarnungen oder Bußgeldbescheide zuzustellen. Bis dahin ist die Erinnerung an die Handlung schon soweit verblasst, dass die Sanktion eher als „Pech“ oder „Abkassieren“ interpretiert wird, als sie korrekt als Folge einer falschen Handlung zu erkennen. Bei einer unmittelbar nach der Handlung erfolgenden Sanktion ist diese Fehl-

interpretation bereits wesentlich unwahrscheinlicher. Eine weiter optimierte Möglichkeit wird in Abschnitt 3.4 vorgestellt.

- Die Tatsache, dass Unfälle für den Einzelnen vergleichsweise seltene Ereignisse sind, hat noch eine weitere negative Folge: Jeder Verkehrsteilnehmer erlebt im Straßenverkehr immer wieder gefährliche Situationen, in denen er knapp einem Unfall entgeht. Gerade junge Fahranfänger, die noch nicht in einen Unfall verwickelt waren, neigen dazu, jedes dieser glücklich unfallfrei überstandenen Ereignisse als Bestätigung der eigenen Fahrkompetenz zu werten, anstatt richtigerweise zu erkennen, dass sie an die physikalischen Grenzen ihres Fahrzeugs gestoßen sind und eine ähnliche Situation zukünftig vermeiden sollten (MUSAHL / BENDING 2005).

c) **Ansatzpunkte zur Verhaltensänderung**

Es stellt sich nun die Frage, auf welche Weise unter den gegebenen Voraussetzungen die Möglichkeit besteht, auf das Verhalten von Fahrzeugführern Einfluss zu nehmen. Bresges hat zu diesem Zweck ein vereinfachtes Modell menschlichen Handelns formuliert, welches in Abbildung 92 schematisch dargestellt ist. Dabei wird neben der Handlung selbst - dem Fahren eines Fahrzeugs - auch die Zeit vorher und nachher betrachtet.

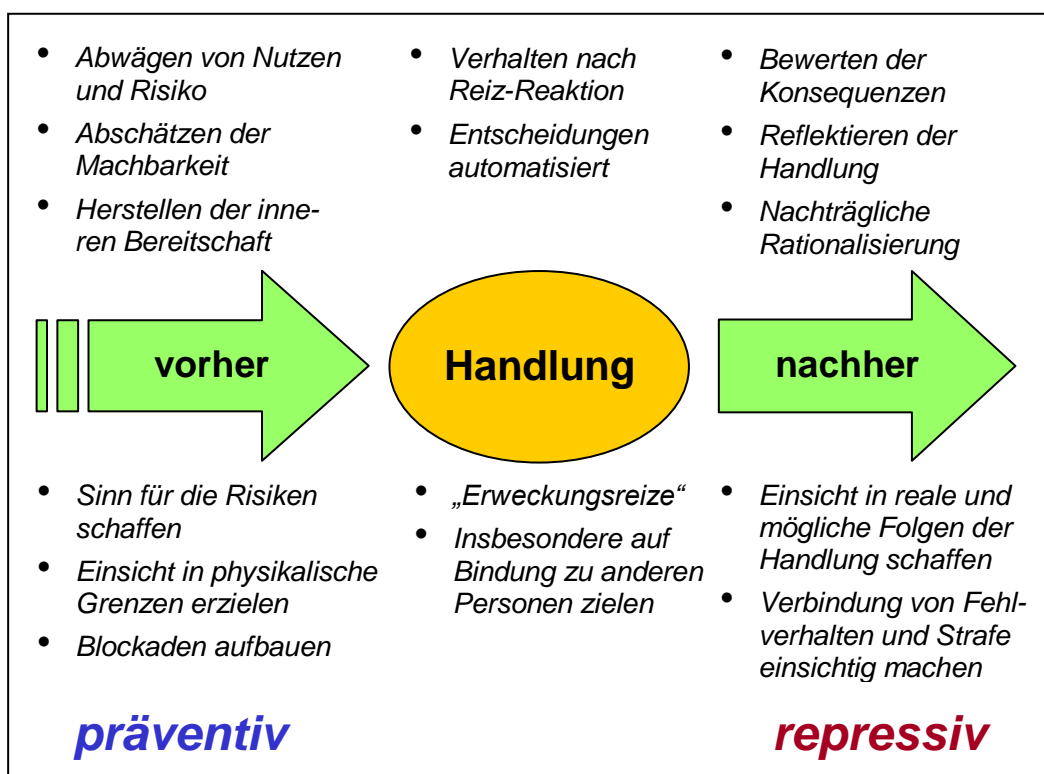


Abbildung 92: Handlungsmodell nach Bresges. Das gelbe Oval symbolisiert die Durchführung einer Handlung, die grünen Pfeile beziehen sich auf die Zeit davor und danach. Die Stichworte oberhalb der Symbole geben die Tätigkeiten des Gehirns vor, während und nach der Handlung an. Unterhalb der Symbole sind Möglichkeiten der Einflussnahme zur Verhaltensänderung angegeben.

- *Während der Handlung* - gemeint ist die Teilnahme am Straßenverkehr - ist im Wesentlichen das Kleinhirn aktiv (siehe Abschnitt a). Es führt automatisiert eingeübte

Routinehandlungen durch, trifft ständig kleine Entscheidungen nach relativ einfachen Reiz-Reaktions-Mustern und reagiert dabei relativ stark auf das affektive Befinden. Eine aktive Einflussnahme durch rationale Überlegungen des Großhirns findet in aller Regel kaum statt.

- *Vor der Handlung* besteht aber durchaus die Möglichkeit, sich in rationaler Weise auf die Handlung zu beziehen: Vor Antritt der Fahrt können Kosten, Nutzen und Risiko abgeschätzt und gegeneinander abgewogen und aufgrund dessen eine Entscheidung über das Verhalten während der Fahrt getroffen werden. Die Entscheidung kann aber auch affektiv, etwa aufgrund von emotionalen Bindungen zu Freunden oder dem Beziehungspartner oder in Erwartung eines positiven Fahrerlebnisses, getroffen werden.
- *Nach der Handlung* gilt das gleiche: Die Erlebnisse während der Fahrt werden in irgendeiner Weise verarbeitet. Dies kann bewusst oder unbewusst, rational oder affektiv erfolgen. Das Ergebnis der Reflexion hat jedenfalls in aller Regel Einfluss auf die Entscheidungen, die vor zukünftigen Fahrten getroffen werden. Hier sei noch einmal auf die psychologischen Effekte verwiesen, die im vorangegangenen Abschnitt aufgezeigt wurden.

Soll nun auf das Verhalten während der Fahrt Einfluss genommen werden, kommen hierfür prinzipiell alle drei beschriebenen Phasen infrage, solange die entsprechenden Besonderheiten berücksichtigt und die Maßnahmen entsprechend angepasst werden.

- *Vor der Handlung* greift die Präventionsarbeit. So können physikalische Fehlkonzep-te korrigiert und Einsicht in die tatsächlichen verkehrsphysikalischen Zusammenhänge geschaffen werden; die konkreten Risiken bestimmter Verhaltensweisen können durch die Information über Fakten, aber auch durch die Schilderung realer Ereignisse vermittelt werden; und es können emotionale Blockaden, etwa durch Appell an die Verantwortung gegenüber Freunden, Verwandten oder Beziehungspartnern, aufgebaut werden. Insbesondere in dieser Phase setzen die Maßnahmen in der hier vorgestellten Unterrichtsreihe an.
- *Während der Handlung* ist der Fahrer nur indirekt erreichbar. Zwei Möglichkeiten hierzu werden innerhalb des Projektes erprobt:
 - Einerseits wird versucht, über die Mitfahrer Einfluss zu nehmen. Daher wird in der Unterrichtsreihe (insbesondere in Modul L03) sehr viel Wert darauf gelegt, den Schülern Möglichkeiten aufzuzeigen, wie sie sich als Mitfahrer so verhalten können, dass gefährliche Situationen vermieden oder entschärft werden.
 - Andererseits wird in der Nordeifel, wo auf besonders frequentierten Strecken jährlich zahlreiche Motorradfahrer tödlich verunglücken, in Zusammenarbeit mit Polizisten, Lehrern und Anwohnern - der „Ordnungspartnerschaft Düren“ - ein Konzept erprobt, das auf Plakate am Wegesrand setzt. Die Plakate werden von den

Anwohnern selbst gestaltet und weisen auf deren Lärmbelästigung und Gefährdung durch die Motorradfahrer hin, um so das Flusserlebnis zu brechen.

- *Nach der Handlung* kann eine Maßnahme insbesondere dann sinnvoll sein, wenn sie in unmittelbarem zeitlichem Zusammenhang mit dem zu ändernden Verhalten erfolgt, wie im vorangegangenen Abschnitt erklärt wurde. Die Möglichkeit zur Durchführung derartiger Maßnahmen bietet sich vor allem der Polizei, die falsches Verhalten ohnehin verfolgen soll. Eine Maßnahme, die von Herrn Dr. Bresges zurzeit erprobt wird, ist in Abschnitt 3.4 beschrieben.

3.2.2.4 Reale Unfälle als Lebensweltproblem

a) *Verkehrsunfall statt fließendem Verkehr*

Der Kontext, welcher für das Unterrichtskonzept gewählt wurde, lautet also „Teilnahme am Straßenverkehr“. Dass dieser Kontext in mehrfacher Hinsicht sinnvoll ist, wurde in den vorangegangenen Abschnitten gezeigt.

Nun besteht aber auch der Anspruch, den Unterricht problemorientiert zu gestalten, wie in Abschnitt 3.1.1.2 ausgeführt wurde. Fragen wie „Was passiert beim Bremsen?“ oder „Wie funktioniert eine Kurvenfahrt?“ sind als solches aber noch keine Probleme, da die Schüler hierzu bereits Erfahrungen gesammelt und dabei in der Regel den Eindruck gewonnen haben, sich hiermit aufgrund ihrer Erfahrungen bereits hinreichend auszukennen. Wenn die Schüler das vom Lehrer vorgegebene Problem aber nicht zu ihrem Problem machen, verfehlt der Ansatz sein Ziel.

Gerade im Straßenverkehr gibt es aber auch wirkliche Probleme. Diese liegen immer dann vor, wenn „etwas schief geht“ und es zu einem Unfall kommt. Die Tatsache, dass gerade junge Fahrer in der Lebensphase der Schüler besonders häufig Verkehrsunfälle verursachen, sollte die persönliche Aneignung des Problems durch die Schüler noch verstärken, da es nachweisbar etwas mit ihnen und ihrem Leben zu tun hat.

Die Idee besteht nun also darin, einen ganz konkreten Unfall, der sich möglichst in zeitlicher und räumlicher Nähe zum Unterricht ereignet hat und an dem junge Fahranfänger beteiligt waren, zum eigentlichen Problem des Unterrichts zu erheben. Die Schüler sollen dann die Rolle des Sachverständigen einnehmen, jedem Hinweis und jeder Spur nachgehen und schließlich ihr fachmännisches Urteil über Unfallhergang, „Unfallursache“ und „Verursacher“ abgeben.

Natürlich sind die Schüler dazu nicht in der Lage, ohne sich einige physikalische Kenntnisse anzueignen. Dies geschieht aber stets vor dem Hintergrund, das Unfallgeschehen zu verstehen und zu beurteilen - die Annahme, mit dem Wissen könne man im realen Leben nichts anfangen, kann also erst gar nicht aufkommen.

Der Lebensweltbezug kann noch weiter verstärkt werden, wenn die Kooperation mit der Polizei gesucht wird. Wie in Abschnitt 3.2.2.1c) dargestellt wurde, sind die Verkehrssicherheitsberater der Polizei - zumindest in Nordrhein-Westfalen - ohnehin verpflichtet, auch in der Sekundarstufe II verkehrspädagogische Maßnahmen durchzuführen und sind nach Erfahrung des Autors daher für eine solche Zusammenarbeit sehr aufgeschlossen. Der Polizist kann aufgrund seiner amtseigenen Autorität einerseits im Unterricht das Problem noch glaubhafter darstellen als der Lehrer. Andererseits kann er - unter Wahrung des Datenschutzes - auch einen zum Thema passenden polizeilichen Unfallbericht zu Verfügung stellen (siehe Abschnitt c).

b) Konkretisierung des Unterrichtsverlaufs

Das modulare Phasenschema, nach welchem der Unterricht stattfinden soll, wurde in Abschnitt 3.2.1.2 bereits vorgestellt. Jedes dieser Module ist nun unter Verwendung der Überlegungen aus dem vorangegangenen Abschnitt mit Inhalt zu füllen. Ein relativ konkreter Vorschlag - wobei die physikalischen Inhalte zunächst noch offen bleiben - ist in Tabelle 5 dargestellt. Die Phasen in der linken Spalte entsprechen genau der Darstellung in Abbildung 87.

Phasierung der Reihe	Thematischer Rahmen des Unterrichtsmoduls
Gewinnung eines Lebensweltproblems	Ein Polizeibeamter kommt in den Unterricht und stellt lebensnah einen bestimmten Komplex von Gefahren im Straßenverkehr dar. Dabei nutzt er unter anderem eine Komponente der Lernsoftware MV1.
Problemanalyse und Zielsetzung	Ein Verkehrsunfall, der sich in zeitlicher und räumlicher Nähe aufgrund der zuvor thematisierten Gefahr ereignet hat, wird in der Rolle des Sachverständigen analysiert. Offene Fragen werden festgehalten.
Experimentelle Untersuchung	In Schülerversuchen werden die physikalischen Zusammenhänge erforscht, die zur Beantwortung der Fragen erforderlich sind. In Arbeitsblättern werden Anweisungen für graphische Auswertungen gegeben.
Auswertung und Hypothesenbildung	Die graphischen Auswertungen der Versuche werden vorgestellt und verglichen. Aufgrund der Beobachtungen werden neue Größen definiert und Hypothesen über mögliche Zusammenhänge formuliert.
Computergestützte Modellierung	Dann werden die neuen Definitionen sowie die elementaren Beobachtungen genutzt, um mit Hilfe der Software MV1 physikalische Modelle zu erstellen und die beobachteten Vorgänge simuliert.
Modellprüfung an empirischen Daten	Die Beobachtungen aus den Realexperimenten und aus den Simulationen werden verglichen und die Modelle danach beurteilt. Außerdem wird die Vereinbarkeit der Modelle mit den Hypothesen geprüft.
Synthese und Problemlösung	Die erstellten Modelle werden schließlich genutzt, um den Unfallhergang des zu Anfang thematisierten Unfalls zu simulieren. Anhand der Simulation werden die noch offenen Fragen beantwortet.
Anwendung und Transfer	Der Polizeibeamte kommt noch einmal in den Unterricht. Er greift die Erkenntnisse der Schüler aus dem Unterricht auf und hilft ihnen dabei, sie in Handlungsperspektiven im Straßenverkehr zu überführen.

Tabelle 5: Konkretisierung des Unterrichtsverlaufs für den lebensweltlichen Kontext. In der linken Spalte sind die Unterrichtsphasen angegeben, wie sie in Abbildung 87 dargestellt sind, in der rechten Spalte ist jeweils kurz angerissen, wie die entsprechende Phase in Bezug auf den Kontext ausgestaltet werden soll.

c) Das Unfalltypenkonzept

Um das Unterrichtskonzept wie hier vorgeschlagen realisieren zu können, ist es erforderlich, mit der örtlichen Polizei zu kooperieren, um unter anderem einen aktuellen Unfallbericht zu erhalten. Dabei gibt es folgendes Problem:

In der Regel wird das physikalische Thema des Unterrichts - durch Lehrplan und Curriculum - mehr oder weniger feststehen. Wünschenswert ist daher, wenn für das Verständnis des Unfallhergangs genau die physikalischen Kenntnisse benötigt werden, welche ohnehin vorgegeben sind, um einen glaubhaften Zusammenhang zwischen dem Lebensweltproblem und den fachlichen Inhalten zu ermöglichen. Sollte von den ganz aktuellen Unfällen keiner geeignet erscheinen, kann jede Polizeibehörde auf ein umfangreiches Archiv von Unfällen der letzten 5 Jahre zurückgreifen, unter denen zweifellos ein Unfall sein wird, der den Anforderungen entspricht.

Um das Auffinden eines solchen Unfalls im Archiv möglichst effizient zu gestalten, verfolgte der Autor den folgenden Ansatz: Alle Unfälle werden von der Polizei nach verschiedenen Kriterien kategorisiert. Zu diesen Kriterien gehört unter anderem die „Unfallursache“. Hierzu gibt es ein offizielles „Ursachenverzeichnis“, in welchem jeder möglichen „Ursache“ eine Nummer zugeordnet wird. Abbildung 93 zeigt einen Auszug aus diesem Verzeichnis, das vollständige „Ursachenverzeichnis“ ist im Abhang unter 5.2.1.1 abgedruckt. Der Ansatz des Autors bestand nun darin, die verschiedenen „Unfallursachen“ auf ihre physikalischen Implikationen hin zu analysieren. So sollte eine umfangreiche Tabelle entstehen, in der physikalische Lerninhalte und Nummern von „Unfallursachen“ einander zugeordnet sind, so dass man bei einer vorgegebenen Kombination von Inhalten direkt die passenden Ursachenummern ablesen kann, was wiederum der Polizei die Ermittlung geeigneter Unfallberichte aus dem Archiv ermöglichen sollte. Um den Ursachenbegriff zu vermeiden (siehe Anmerkung in Fußnote 42 auf Seite 202), wählte der Autor für dieses Vorgehen die Bezeichnung „Unfalltypenkonzept“ und stellte es auf der Frühjahrstagung der DPG 2004 vor (BUSSE DPG 2004).

Aufgrund einiger praktischer Hindernisse wurde das Vorhaben jedoch nicht durchgeführt: Die Polizei Mülheim an der Ruhr, mit welcher die Unterrichtsreihe in Kooperation durchgeführt wurde, archiviert Unfälle (noch) nicht elektronisch, sondern als Fotokopien in Ordnern. Das Problem dabei besteht darin, dass die Unfallberichte nicht etwa nach Ursachenummern oder Daten, sondern nach *Straßennamen* sortiert werden.

Unter dieser Voraussetzung bringt die Umsetzung der Idee zum gegenwärtigen Zeitpunkt daher noch keinerlei Vorteil, da trotzdem das Archiv mit seinen tausenden von Unfällen Ordner für Ordner durchgesehen werden muss, um einen geeigneten Unfallbericht zu finden. Mittelfristig soll in ganz NRW die Aufnahme und Speicherung von Verkehrsunfällen jedoch elektronisch erfolgen - ein erneuter Anlauf zur Realisierung des Projektes wäre dann lohnenswert.

Ursachenverzeichnis		Nr.	Ursachenbezeichnung
<p>Es sind stets alle festgestellten Ursachen mit ihren Schlüsselnummern einzutragen. Im Verzeichnis nicht besonders genannte Ursachen sind den hierfür vorgesehenen Restpositionen zum jeweiligen Abschnitt zuzuordnen, wie 04, 49, 55, 69, 74, 84 und 88. Ist eine Zuordnung zu den vorgenannten Positionen nicht möglich, dann ist Position 89 anzugeben. Die Ursachen 01 und 69 sind den entsprechenden Ordnungsnummern der Beteiligten zuzuordnen. Zumindest bei den die Verkehrstüchtigkeit betreffenden Ursachen 01 und 04 sind noch eine oder mehrere Ursachen anzugeben.</p>			
Nr.	Ursachenbezeichnung		
	Verkehrstüchtigkeit		
01	Alkoholeinfluss		
02	Einfluss anderer berauschender Mittel (z.B. Drogen, Rauschgift)		
03	Übermüdung		
04	Sonstige körperliche oder geistige Mängel		
	Fehler der Fahrzeugführer Straßenbenutzung		
10	Benutzung der falschen Fahrbahn (auch Richtungsfahrbahn) oder verbotswidrige Benutzung anderer Straßenteile		
11	Verstoß gegen das Rechtsfahrgebot		
	Geschwindigkeit Nicht angepasste Geschwindigkeit		
12	mit gleichzeitigem Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit		
13	in anderen Fällen		
	Abstand		
14	Ungenügender Sicherheitsabstand (sonstige Ursachen, die zu einem Verkehrsunfall führen, sind den zutreffenden Positionen, wie Geschwindigkeit, Übermüdung usw. zuzuordnen)		
			Vorbeifahren
24			Nichtbeachten des Vorranges entgegen kommender Fahrzeuge beim Vorbeifahren an haltenden Fahrzeugen, Absperrungen oder Hindernissen (§ 6) (ausgenommen Pos. 32)
25			Nichtbeachten des nachfolgenden Verkehrs beim Vorbeifahren an haltenden Fahrzeugen, Absperrungen oder Hindernissen und/oder rechtzeitige und deutliche Ankündigung des Ausscherens
			Nebeneinanderfahren
26			Fehlerhaftes Wechseln des Fahrstreifens beim Nebeneinanderfahren oder Nichtbeachten des Reißverfahrens (§ 7) (ausgenommen Pos. 20, 25)
			Vorfahrt, Vorrang
27			Nichtbeachten der Regel „rechts vor links“
28			Nichtbeachten der die Vorfahrt regelnden Verkehrszeichen (§ 8) (ausgenommen Pos 29)
29			Nichtbeachten der Vorfahrt des durchgehenden Verkehrs auf Autobahnen oder Kraftfahrstraßen (§ 18, Abs. 3)
30			Nichtbeachten der Vorfahrt durch Fahrzeuge, die aus Feld- oder Waldwegen kommen
31			Nichtbeachten der Verkehrsregelung durch Polizeibeamte oder Lichtzeichen (ausgenommen Pos. 39)
32			Nichtbeachten des Vorranges entgegen kommender Fahrzeuge (Zeichen 208 StVO)
33			Nichtbeachten des Vorranges von Schienenfahrzeugen an Bahnübergängen
			Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren, Ein- und Anfahren
35			Fehler beim Abbiegen (§ 9) (ausgenommen Pos. 33, 40)
36			Fehler beim Wenden oder Rückwärtsfahren

Abbildung 93: Auszug aus dem Ursachenverzeichnis für Verkehrsunfälle der Polizei Nordrhein-Westfalen. Das vollständige Verzeichnis ist im Anhang unter 5.2.1.1 zu finden.

3.3 Exemplarische Realisierung

3.3.1 Thema und Bedingungen

3.3.1.1 Schulen, Lehrkräfte und Kurse

Die Unterrichtsreihe wurde exemplarisch für ein bestimmtes physikalisches Thema (siehe Abschnitt 3.3.1.2) ausgearbeitet und parallel in 7 Grundkursen Physik der Jahrgangsstufe 11 an 4 weiterführenden Schulen in Mülheim an der Ruhr durchgeführt. Aktiv beteiligt an der Realisierung des Konzeptes waren außer den beteiligten Kurslehrern auch die Beamten des Kommissariats Vorbeugung der Polizei Mülheim an der Ruhr, insbesondere Herr POK Michael Ronsieck.

Name und Adresse der Schule	Art und Lehrer des Kurses	Anzahl der Schüler
Gymnasium Luisenschule An den Buchen 36 45470 Mülheim an der Ruhr	Grundkurs Physik 1 x 1 und 1 x 2 St / Wo Herr Funk	<i>Kurse zusammengelegt nach der ½ der Reihe.</i>
	Grundkurs Physik 1 x 1 und 1 x 2 St / Wo Herr Sbresny	19 Jungen 10 Mädchen 29 Gesamt
Karl-Zieger-Gymnasium Schulstraße 2-6 45468 Mülheim an der Ruhr	Grundkurs Physik 1 x 1 und 1 x 2 St / Wo Herr Müller	20 Jungen 11 Mädchen 31 Gesamt
Gustav-Heinemann-Gesamtschule Boverstraße 150 45473 Mülheim an der Ruhr	Grundkurs Physik 1 x 1 und 1 x 2 St / Wo Herr Steinert	10 Jungen 02 Mädchen 12 Gesamt
	Grundkurs Physik 1 x 1 und 1 x 2 St / Wo Herr Intven	05 Jungen 11 Mädchen 16 Gesamt
Berufskolleg Mülheim Saarn Lehnerstraße 67 45481 Mülheim an der Ruhr	Grundkurs Physik 1 x 2 St / Wo Frau Zischka	09 Jungen 13 Mädchen 22 Gesamt
	Grundkurs Physik 1 x 2 St / Wo Frau Zischka	17 Jungen 08 Mädchen 25 Gesamt
Gesamtzahl der Schüler aller teilnehmenden Kurse:		80 Jungen 55 Mädchen 135 Gesamt

Tabelle 6: Übersicht über Schulen, Kurse, Kurslehrer und Schüler, die an die im aktuellen Abschnitt vorgestellten Unterrichtsreihe teilgenommen haben. Nicht aufgeführt sind die in Kapitel 4 benannten Vergleichsgruppen, da die Lehrer eigene, selbst gestaltete Konzepte für den Unterricht verwendet haben.

3.3.1.2 Thematischer Rahmen

a) *Aufbau des Lehrplans in Nordrhein-Westfalen*

Der aktuelle Lehrplan des Faches Physik für die Sekundarstufe II des Landes Nordrhein-Westfalen (siehe MSWWF-NRW 1999) teilt die gesamten Lerninhalte in 5 *Sachbereiche* (Mechanik, Elektrik, Relativitätstheorie, Thermodynamik, sowie Atom- und Quantenphysik) auf. Diese Sachbereiche werden weiter untergliedert in *Themen*, welche dann wiederum die konkreten *Gegenstände* (fachlichen Inhalte) enthalten.

Für jeden der Unterrichtsgegenstände ist angegeben, ob er für Grund- oder Leistungskurse *obligatorisch* ist oder nicht. Die übrigen Inhalte fallen in den Entscheidungsspielraum des Lehrers, welcher je nach Interessen und Fähigkeiten der Schüler, Ausstattung der Schule und sonstigen Rahmenbedingungen die verbleibende Unterrichtszeit mit weiteren Gegenständen ausfüllen soll.

Eine Reihe von Themen, sogar zwei komplette Sachgebiete (Relativitätstheorie und Thermodynamik) enthalten für Grundkurse gar keine obligatorischen Gegenstände, können also je nach Gesamtkonzeption des Unterrichts durch den Lehrer ganz weggelassen werden.

b) *Unterrichtsgegenstand und Begründung anhand des Lehrplans*

Der physikalische Unterrichtsgegenstand, der für die durchgeführte Unterrichtsreihe ausgewählt wurde, und dessen Position innerhalb des Lehrplans lautet:

Sachgebiet: Mechanik.

Thema: Kinematik und Dynamik des Massenpunktes.

Gegenstand: Gesetze der gleichförmigen und gleichmäßig beschleunigten Bewegung.

Es handelt sich dabei um den ersten obligatorischen physikalischen Inhalt, welcher im Lehrplan genannt wird. Obwohl der Lehrplan bezüglich der Reihenfolge der zu behandelnden Gegenstände nur wenige Vorgaben macht, wird der genannte Inhalt von allen Lehrkräften, welchen der Autor innerhalb des Promotionsvorhabens hierzu befragt hat, direkt zu Beginn der Jahrgangsstufe 11 zur Einführung in die Mechanik verwendet, teilweise sogar verbindlich durch die schulinternen Curricula vorgeschrieben. Was die Gewichtung und zeitlich Abfolge der weiteren Gegenstände des Sachgebietes Mechanik angeht, divergieren die Konventionen und Vorschriften von Schule zu Schule stark.

Insbesondere aufgrund dieser Beobachtung fiel die Auswahl auf den genannten Gegenstand: Zu Beginn der Jahrgangsstufe 11 ist das Thema Kinematik für alle Schüler (innerhalb des Schulunterrichts) neu, da es in der Sekundarstufe I nicht vorgesehen ist. Insofern bestehen vergleichbare Lernvoraussetzungen zwischen den Lerngruppen, da mögliche relevante Vorkenntnisse zumindest nicht aus dem Unterricht stammen und daher statistisch verteilt sein sollten.

Für alle anderen Inhalte wäre es erforderlich gewesen, den Unterricht bis zum Beginn der zu erprobenden Reihe so weit inhaltlich, methodisch und zeitlich zu koordinieren, dass wiederum von annähernd gleichen Lernvoraussetzungen der Schüler ausgegangen werden könnte, was die Kooperationsbereitschaft der beteiligten Lehrer weit über Gebühr strapaziert hätte.

c) Enthaltene physikalische Sachaspekte

Nach der Festlegung des Gegenstandes der Unterrichtsreihe werden im Folgenden konkrete Sachaspekte aus diesem destilliert, welche den Schülern (unter anderem) zu vermitteln sind. Die Inhalte werden hier nur benannt, ihre Ausfaltung erfolgt bei der Darstellung der einzelnen Unterrichtsmodule.

- Die Begriffe „Geschwindigkeit“ und „Beschleunigung“ müssen geklärt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Kenntnis von Ableitungen als mathematisches Hilfsmittel aufgrund des Lehrplans nicht vorausgesetzt werden kann. Es muss auch klar werden, dass es sich um vektorielle Größen handelt und was das bedeutet.
- Es muss klar werden, was unter gleichförmigen und gleichmäßig beschleunigten Bewegungen zu verstehen ist und wie sich beide Bewegungsarten unterscheiden. Aufgrund des Kontextes ist zusätzlich eine eigenständige Thematisierung der gleichmäßig verzögerten Bewegung als Spezialfall sinnvoll.
- Die behandelten Bewegungsarten sollen mindestens auf die Abhängigkeit von Ort und Geschwindigkeit von der Zeit untersucht werden. Diese soll mehrfach codiert werden: Erstens in Form von Diagrammen, zweitens als mathematische Formel und drittens in Form eines graphischen Modells.
- Zusätzlich sollen Haftgrenze und Gleitreibung halbquantitativ thematisiert werden, indem Abhängigkeiten und Nichtabhängigkeiten beteiligter Größen festgestellt werden. Dies ist zwar nicht vorgesehener Bestandteil des Lehrplangegegenstandes, ist aber zum Verständnis des Kontextes hilfreich.

Es folgt nun die konkrete, inhaltliche und methodische Darstellung der einzelnen Unterrichtsmodule.

3.3.2 Darstellung der Unterrichtsmodule

In diesem Abschnitt wird die durchgeführte Unterrichtsreihe im Einzelnen vorgestellt. Tabelle 9 zeigt eine kurze Übersicht über Bezeichnung und Thema der einzelnen Module, ihre Zuordnung zu dem in Abschnitt 3.2 dargestellten Phasenschema sowie den ungefähren Zeitbedarf. Die angegebene Reihenfolge der Module wird vom Autor bevorzugt, wurde aber bei der Durchführung aus organisatorischen Gründen teilweise variiert, was aufgrund des modularen Aufbaus des Konzeptes unproblematisch ist.

Modul	Phasierung der Reihe	Hauptmethode und Thema des Unterrichtsmoduls	Zeit
L01	Gewinnung eines Lebensweltproblems	<i>Besuch der Polizei mit Film und Software:</i> Überproportionale Beteiligung junger Fahrer an Verkehrsunfällen, Geschwindigkeit als „Hauptunfallursache“.	2 Std.
L02	Problemanalyse und Zielsetzung	<i>Kartenabfrage in Gruppen:</i> Analyse eines polizeilichen Unfallfundberichtes aus der näheren Umgebung der Schule.	1-2 Std.
E01	Experimentelle Untersuchung	<i>Schülerversuche in Lernstationen:</i> Experimentelle Untersuchung der Zeitabhängigkeit von Weg und Geschwindigkeit für spezielle Translationen.	4-6 Std.
E02	Auswertung und Hypothesenbildung	<i>Gruppenpräsentationen im Plenum:</i> Begriffe Geschwindigkeit und Beschleunigung sowie deren Zeitabhängigkeit bei speziellen Translationen.	2-3 Std.
M01	Methodischer Exkurs	<i>Frontalunterricht im Plenum:</i> Begriffe Modell und System, Elemente dynamischer Systeme, Konzept der numerischen Iteration.	1-2 Std.
M02	Computergestützte Modellierung	<i>Gruppenarbeit am Computer:</i> Computergestützte Modellierung und Simulation spezieller Translationsbewegungen.	1-2 Std.
M03	Modellprüfung an empirischen Daten	<i>Gruppenarbeit am Computer:</i> Computergestützte Modellierung und Simulation experimentell untersuchter Systeme.	1-2 Std.
M04	Synthese und Problemlösung	<i>Gruppenarbeit am Computer:</i> Computergestützte Modellierung und Simulation der Vorgänge aus dem Unfallbericht	1-2 Std.
L03	Anwendung und Transfer	<i>Besuch der Polizei mit Rollenspiel und Unfallauto:</i> Polizeiaufgaben am Unfallort, reale Unfallschäden, sinnvolle Verhaltensstrategien für Fahrer und Mitfahrer.	1-2 Std.

Tabelle 7: Übersicht über die durchgeführte Unterrichtsreihe. Die Bezeichnung der Module in der ersten Spalte gibt Aufschluss über die Zuordnung zu einem der Kernbereiche und die zugehörigen Arbeitsmaterialien im Anhang. Die Phasierung in Spalte 2 bezieht sich auf Abbildung 87, Spalte 3 enthält Angaben zur Unterrichtsmethode und zum thematischen Schwerpunkt. In der letzten Spalte ist die Anzahl der Schulstunden angegeben, die minimal und maximal bei der Durchführung für jedes Modul benötigt wurden.

In den folgenden Unterabschnitten werden die einzelnen Module detailliert vorgestellt. Jeweils zu Anfang werden zusammenfassend Thema, Position und Phase innerhalb der Reihe, Lernvoraussetzungen, Lernort, Methoden und Medien benannt und danach ausführlich Sachaspekte, Lernziele und Verlauf des Unterrichtsmoduls dargestellt.

3.3.2.1 Modul L01 (L wie Lebenswelt)

<i>Thema des Unterrichtsmoduls:</i>	Überproportionale Beteiligung junger Fahrer an Verkehrsunfällen, Geschwindigkeit als „Hauptunfallursache“.
<i>Position innerhalb der Unterrichtsreihe:</i>	Einführung des lebensweltlichen Kontextes durch Besuch der Polizei im Unterricht.
<i>Unterrichtsphase:</i>	Gewinnung eines Lebensweltproblems.
<i>Vorausgesetzte Module:</i>	Keine erforderlich.
<i>Empfohlener Lernort:</i>	Unterrichtsraum mit Projektionsmöglichkeit.
<i>Verwendete Methoden:</i>	Filmvorführung, Vorträge, Unterrichtsgespräche
<i>Eingesetzte Medien:</i>	Notebook, Lautsprecherboxen, Videoprojektor; Film „Wettrennen in den Tod“ der Polizei Brandenburg, Inhaltskomponente „Anhalteweg“ aus MV1.
<i>Benötigte Unterrichtszeit:</i>	2 Unterrichtsstunden.

a) Sachaspekte

Unfallstatistische Fakten

Beteiligung an und Verursachung von Verkehrsunfällen		2000	2001	2002	2003	2004
Einwohner	Gesamt	18.029.225	18.009.665	18.052.092	18.076.356	18.079.686
	18- bis 24-Jährige	1.342.051	1.359.993	1.376.408	1.391.105	1.404.749
	Anteil an gesamt	7,44%	7,55%	7,62%	7,70%	7,77%
Verursacher	Gesamt	197.323	195.816	191.993	189.991	188.382
	18- bis 24-Jährige	29.617	28.977	27.498	26.687	26.039
	Anteil an gesamt	15,01%	14,80%	14,33%	14,05%	13,82%
Verursacher als PKW-Fahrer	Gesamt	114.342	113.666	111.524	96.705	112.039
	18- bis 24-Jährige	25.376	24.868	23.683	22.964	22.485
	Anteil an gesamt	22,19%	21,88%	21,24%	23,75%	20,07%

Tabelle 8: Junge Fahrer als Verursacher von Verkehrsunfällen in NRW. Auszug aus der Tabelle auf Seite 72 der Verkehrsunfallstatistik 2004 der Polizei Nordrhein-Westfalen (siehe IM-NRW 2004). Es wird der Anteil der 18- bis 24-Jährigen an den Unfallverursachern mit ihrem Anteil an der Einwohnerzahl verglichen. Ein Vergleich mit dem Anteil am Verkehrsaufkommen liegt leider nicht vor.

- Junge Fahranfänger im Alter von 18 bis 24 Jahren sind weit überproportional als Verursacher an Verkehrsunfällen beteiligt. Während der relative Anteil dieser Altersgruppe an der Gesamteinwohnerzahl Nordrhein-Westfalens im Jahr 2004 bei 7,77% lag, war dieselbe Gruppe im selben Zeitraum zu 13,62% (also fast mit dem doppelten Anteil), als PKW-Fahrer sogar zu 20,07% (als fast mit dem dreifachen Anteil) als Verursacher von Verkehrsunfällen beteiligt (vergleiche Tabelle 8).

- Die Polizei kategorisiert Unfälle unter anderem nach ihren (vermeintlichen) Ursachen⁴². Dabei haben sich 7 so genannte „Hauptunfallursachen“ (HUU) herausgestellt, die seit vielen Jahren gesondert erfasst und auf vielen Ebenen statistisch ausgewertet werden. Diese offiziellen HUU lauten:
 - Nicht angepasste Geschwindigkeit,
 - Fehler beim Abbiegen, Wenden oder Rückwärtsfahren,
 - Nichtbeachten von Vorfahrt oder Vorrang,
 - Nichteinhalten des Sicherheitsabstandes,
 - Fahren unter Einfluss von Alkohol oder Drogen,
 - Fehler beim Überholen,
 - Fehlverhalten von oder gegenüber Fußgängern.

Für die Altersgruppe der 18- bis 24-jährigen Fahrer spielt die „Hauptunfallursache“ „Nicht angepasste Geschwindigkeit“ seit Jahrzehnten die wichtigste Rolle (vergleiche Tabelle 9).

Hauptunfallursachen bei 18- bis 24-Jährigen	2000	2001	2002	2003	2004
Geschwindigkeit	9.012	9.051	8.217	7.558	7.427
Abbiegen / Wenden	4.774	4.782	4.656	4.507	4.949
Vorfahrt / Vorrang	4.289	4.167	4.046	4.296	3.896
Abstand	3.345	3.299	2.892	2.612	2.678
Alkohol	2.576	2.541	2.497	2.427	2.396
Überholen	1.108	950	1.005	946	783
Fehlverhalten gegenüber Fußgängern	700	682	592	552	578

Tabelle 9: „Hauptunfallursachen“ bei Verkehrsunfällen mit jungen Fahrern in NRW. Auszug aus der Tabelle auf Seite 72 der Verkehrsunfallstatistik 2004 der Polizei NRW (siehe IM-NRW 2004).

- Unter den 18- bis 24-Jährigen sind männliche Fahrer wesentlich häufiger an schweren Verkehrsunfällen beteiligt. Laut Statistischem Bundesamt (STAT-BA 2005 B Tabelle 5) sind im Jahr 2004 deutschlandweit 986 männliche, aber „nur“ 282 weibliche Verkehrsteilnehmer dieser Altersgruppe bei Unfällen ums Leben gekommen.

Physikalische Fakten

- Bereits relativ geringe Geschwindigkeitsüberschreitungen können zu relativ hohen Aufprallgeschwindigkeiten auf ein Hindernis führen, vor dem das Fahrzeug unter gleichen Bedingungen mit der vorgeschriebenen Geschwindigkeit rechtzeitig zum

⁴² Diese Verwendung des Ursachen-Begriffs ist nicht unproblematisch, wie von MUSAHL 1997 gezeigt wurde. Neutraler wäre der Begriff „Unfallbegleiter“, da neben dem objektiv feststellbaren, unfallbegleitenden Auftreten eines Umstandes keine Aussagen über einen kausalen Zusammenhang unterstellt werden. Aufgrund der Gebräuchlichkeit in der Polizeiarbeit wird Ursachen-Begriff aber trotzdem verwendet.

Stehen gekommen wäre. Es folgen einige typische Beispiele (bei einer angenommenen Reaktionszeit von 1 s und einer Bremsverzögerung von 7 m/s^2):

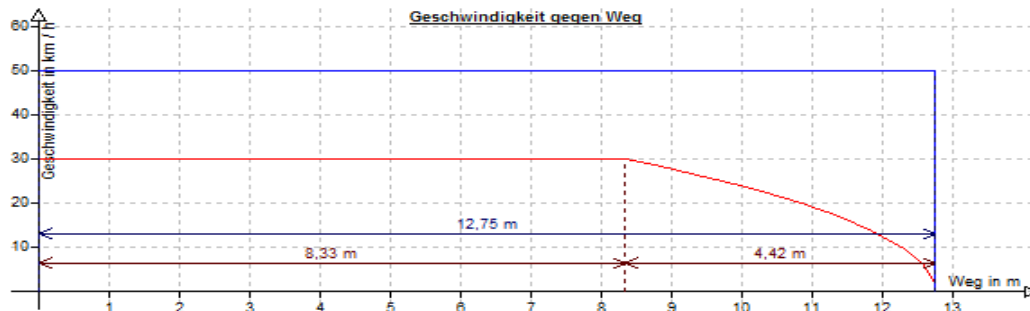


Abbildung 94: Verkehrsberuhigte Zone an einer Schule.

Erlaubt: 30 km/h (rote Kurve), gefahren: 50 km/h (blaue Kurve), Aufprallgeschwindigkeit: 50 km/h .

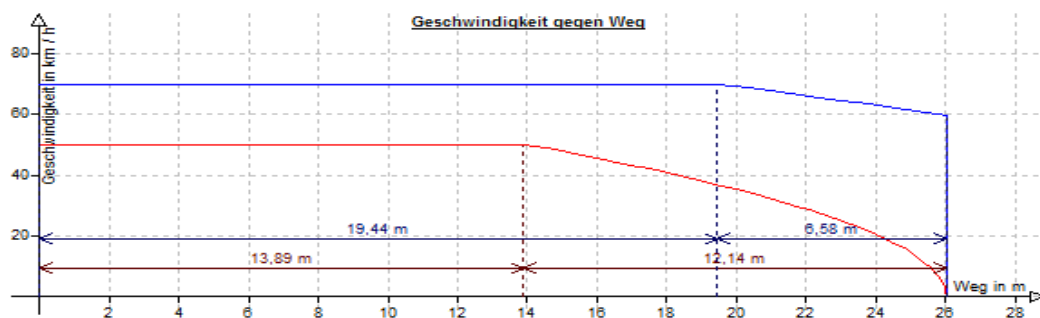


Abbildung 95: Straße innerhalb einer geschlossenen Ortschaft.

Erlaubt: 50 km/h (rote Kurve), gefahren: 70 km/h (blaue Kurve), Aufprallgeschwindigkeit: 59 km/h .

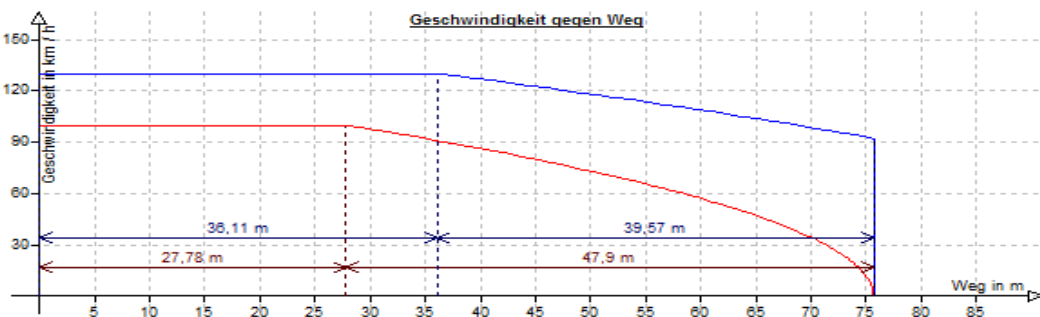


Abbildung 96: Landstraße außerhalb geschlossener Ortschaften.

Erlaubt: 100 km/h (rote Kurve), gefahren: 130 km/h (blaue Kurve), Aufprallgeschwindigkeit: 91 km/h .

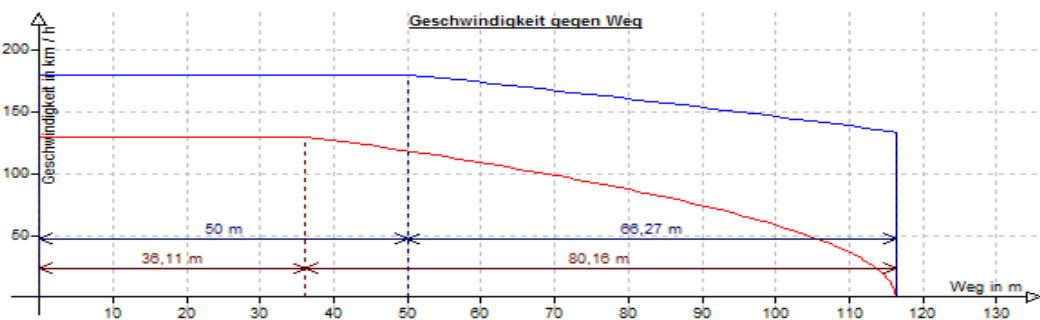


Abbildung 97: Autobahn ohne Geschwindigkeitsbeschränkung.

Empfohlen: 130 km/h (rote Kurve), gefahren: 180 km/h (blaue Kurve), Aufprallgeschwindigkeit: 131 km/h .

Die in den Abbildung 94 und Abbildung 95 verwendete Geschwindigkeitsüberschreitung von 20 km/h ist üblich in geschlossenen Ortschaften, da bis zu dieser Grenze nur ein Bußgeld erhoben wird. In Abbildung 96 wurde für Landstraßen eine Überschreitung von 30 km/h angenommen, da bis zu dieser Grenze kein Führerscheinentzug droht. Für Autobahnen ohne Geschwindigkeitsbeschränkung (Abbildung 97) gilt eine Richtgeschwindigkeit von 130 km/h, auf freien und gut ausgebauten Straßen werden aber in der Regel 180 km/h und mehr gefahren.

- Aus den genannten Abbildungen sind außerdem folgende Aspekte erkennbar:
 - Der gesamte Anhalteweg setzt sich zusammen aus dem Reaktionsweg (der Strecke vom Auftauchen des Hindernisses bis zur Einleitung des Bremsvorgangs) und dem Bremsweg (der Strecke vom Beginn des Bremsvorgangs bis zum Stillstand). Der Anhalteweg verlängert sich mit zunehmender Ausgangsgeschwindigkeit.
 - Bei Auftragung der Geschwindigkeit über den Weg verläuft die Kurve während des Bremsvorgangs anfangs nur sehr flach abfallend und wird dann langsam immer steiler. Etwa die Hälfte der Geschwindigkeit wird erst im letzten Drittel des Bremsweges abgebaut.
 - Je höher die gefahrene Geschwindigkeit vor dem Ereignis, desto geringer fällt der relative Anteil des Reaktionsweges am Anhalteweg. Eine gute Reaktionszeit führt bei niedrigen Geschwindigkeiten also zu einer deutlichen Verkürzung des Anhalteweges, bei hohen Geschwindigkeiten fällt die Verkürzung anteilig geringer aus.
 - Diese Simulationen setzen bereits optimale Bremsvorgänge voraus: Bremsen, Reifen und Stoßdämpfer sind technisch in Ordnung, die Straße ist trocken und griffig, die Haftgrenze wird nicht überschritten, und der Fahrer tritt von Anfang bis Ende des Bremsvorgang das Bremspedal bis zum Anschlag durch.

b) Lernziele

- Die Schüler sollen ihre Selbsteinschätzung als Verkehrsteilnehmer verbalisieren, reflektieren und aufgrund neuer Fakten überdenken. Insbesondere sollen sie
 - erkennen, dass sie als junge Fahrer zu der Gruppe gehören, welche am häufigsten in schwere Verkehrsunfälle verwickelt ist, und
 - das verbreitete Vorurteil, Männer seien die besseren Autofahrer, aufgrund der Faktenlage verwerfen und dies bei ihrer Selbsteinschätzung berücksichtigen.
- Die Schüler sollen nach Ursachen suchen, durch welche sich die besondere Gefährdung erstens junger und zweitens männlicher Fahrer erklären lässt. Beispiele:
 - Geringe praktische Erfahrung von Fahranfängern, besonders in Grenzsituationen,
 - unreflektierte Überschätzung der eigenen Kontrolle über das Fahrzeug,
 - Imponiergehabe männlicher Fahrer gegenüber Frauen oder Konkurrenten,
 - bewusst risikoreiche Fahrweise, insbesondere hohe Geschwindigkeiten,
 - gruppendynamische Prozesse innerhalb des Fahrzeugs,
 - unbewusste Beeinflussung des Fahrverhaltens durch emotionalen Zustand,
 - Ablenkung durch Handy, laute Musik oder Umgebungsreize.
- Die Schüler sollen sich eigene physikalische Fehlkonzepte bewusst machen und durch zutreffendere Konzepte ersetzen. Insbesondere sollen sie verstehen,
 - dass bereits relativ geringe Überschreitungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit zu lebensgefährlichen Aufprallgeschwindigkeiten führen können, während unter gleichen Bedingungen mit der zulässigen Geschwindigkeit ein Unfall ganz hätte vermieden werden können, und
 - dass eine gute Reaktionszeit gerade bei hohen Geschwindigkeiten kaum zur Reduktion der Aufprallgeschwindigkeit beitragen kann.
- Die Schüler sollen sich ihrer Verantwortung als (zukünftige) Fahrzeugführer bewusst werden. Insbesondere sollen sie realisieren,
 - dass sie (im Wesentlichen) als Fahrer allein für alles haftbar sind, was im Fahrzeug geschieht, und die Verantwortung für mögliches Fehlverhalten im Straßenverkehr nicht auf Mitfahrer abwälzen können, und
 - sich mit den Folgen möglicher Unfälle für Opfer und Verursacher in juristischer, gesundheitlicher, psychosozialer und finanzieller Hinsicht auseinandersetzen.

c) *Unterrichtsverlauf*

Das Unterrichtsmodul wird vollständig von einem Beamten des Kommissariats Vorbeugung der örtlichen Polizeibehörde durchgeführt, der auch die erforderlichen Materialien und Medien mit zur Schule bringt.

In Nordrhein-Westfalen wurden alle Polizeidienststellen mit der Software MV1 ausgestattet. Ein Großteil der Verkehrssicherheitsberater wurde in der Verwendung der Inhaltskomponente „Anhalteweg“ (siehe Abschnitt 2.3.1.5a) auf die hier beschriebene Weise durch den Autor sowie Herrn Dr. Bresges im Rahmen von Fortbildungsmaßnahmen am IAF in Neuss bereits geschult. Eine frühzeitige Kontaktaufnahme, sowie die terminliche, technische und inhaltliche Koordination der Bemühungen von schulischer und polizeilicher Seite, sind aber unbedingt anzuraten.



Abbildung 98: „Wettrennen in den Tod“. Ein Videofilm der Polizei des Landes Brandenburg, produziert vom Medienzentrum der Fachhochschule der Polizei im Jahr 1999. Zwei Jugendliche sind in einem „getuneten“ Opel Calibra mit bis zu 240 km/h auf den Landstraßen Brandenburgs unterwegs und provozieren andere Autofahrer zu riskanten Hochgeschwindigkeitsfahrten (Bilder oben). Das Video ist real und wurde von den Jugendlichen selbst mitgeschnitten. Nach einem offensichtlichen Filmriss werden Polizeifotos (Bild links unten) gezeigt: Die Fahrt endete durch Kollision mit einem Alleebaum, beide Fahrer wurden getötet. Moderiert wird das Video von Joe Rilla, einem damals 23 Jahre alten Rapper aus Brandenburg (Bild rechts unten, am Grab der Jugendlichen), der selbst 7 Freunde durch Verkehrsunfälle verloren und für die Polizei ein Musikvideo zu diesem Thema erstellt hat, das am Ende des Films gezeigt wird.

- Zunächst stellt der Beamte sich vor und erläutert kurz sein Aufgabengebiet und den Zweck seines Unterrichtsbesuchs.
- Danach wird den Schülern zum Einstieg in das Thema ein Videofilm der Polizei Brandenburg gezeigt mit dem Titel „Wettrennen in den Tod“ (siehe Abbildung 98). Der Film handelt von einer Hochgeschwindigkeitsfahrt zweier gendlicher über die Landstraßen Brandenburgs, die durch Verlust der Fahrzeugkontrolle und Aufprall auf einen Baum tödlich endete. Ein Teil der Aufnahmen wurde von den gendlichen selbst während der Fahrt aus dem Fahrzeug heraus mit der Videokamera aufgenommen.
- Nach dem Film werden die Schüler nach ihren spontanen Eindrücken gefragt. Der Beamte versucht, in einem offenen Gespräch Vorerfahrungen und Meinungen der Schüler zu erfahren, die für das Thema relevant sein können. Beispiele:
 - Wer besitzt oder erwirbt gerade einen Führerschein?
 - Wer besitzt ein eigenes Fahrzeug?
 - Wer hat bereits riskante Verkehrssituationen erlebt?
 - Beteiligung daran als Fahrer, Mitfahrer oder Zuschauer?
 - Wie werden Fahrstil und Kompetenz eingeschätzt?
 - Welche Einstellung besteht zu riskanten Fahrmanövern?

Lehrervortrag

(5 min)

Filmvorführung

Notebook, Projektor,
Lautsprecherboxen,
Videofilm „Wettrennen
in den Tod“

(15 min)

offenes, erfragendes
Unterrichtsgespräch

(5 min)



Abbildung 99: Schüler der Luisenschule Mülheim an der Ruhr beim Betrachten des Films „Wettrennen in den Tod“. Der Film ruft bei den meisten Schülern Bestürzung hervor, über die Musikgestaltung divergieren die Ansichten. Erschreckend vielen sind die Verhaltensmuster aber auch aus eigener Erfahrung bekannt. Im linken Bild ist Polizeioberkommissar (POK) Ronsieck von der Polizei Mülheim Ruhr beim Vorführen des Films zu sehen.

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufbauend auf dem ermittelten Stand der Vorerfahrungen, Einschätzungen und Einstellungen werden mit den Schülern schrittweise die oben genannten, nicht-physikalischen Lerninhalte erarbeitet, und zwar auf folgende Weise: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Der Polizeibeamte bringt konkrete Beispiele aus seinem eigenen Erfahrungsrepertoire in das Gespräch ein. Insbesondere schildert er Unfälle, die sich im Einzugsbereich der Schule innerhalb der letzten Monate ereignet haben und an denen junge Fahrer beteiligt waren. ◦ Ebenfalls aus eigener Erfahrung kann der Beamte von den Folgen der Unfälle für den Verursacher berichten: Geldbuße, Strafverfahren, Führerscheinverlust, Jobverlust, psychologische Behandlung, soziale Ausgrenzung und Verlust der Lebensperspektiven durch finanzielle Verpflichtungen gegenüber den Opfern. ◦ Fehlerhafte Einschätzungen ihrer eigenen Möglichkeiten sowie der statistischen Datenlagen, etwa die Abhängigkeit der Unfallbeteiligung von Alter und Geschlecht, sollen von den Schülern nach Möglichkeit im Gespräch gegenseitig korrigiert werden. ◦ Wenn erforderlich kann der Beamte aber auch durch konkrete statistische Daten seine Aussagen belegen, um zweifelnde Schüler von der Richtigkeit zu überzeugen. 	<p>fragend entwickelndes Unterrichtsgespräch, unterstützt durch Faktenkenntnisse und einschlägige Erfahrungen des Polizisten (20 min)</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ In der zweiten Unterrichtsstunde geht es verstärkt um die konkreten Ursachen von Verkehrsunfällen. Hierzu werden zunächst mit den Schülern die „Hauptunfallursachen“ herausgearbeitet und hinsichtlich ihrer relativen Häufigkeit in der Gruppe der jungen Fahrer geordnet. Der Polizist unterstreicht dies durch Angabe von Zahlenwerten für NRW. Die Tatsache, dass nicht angepasste Geschwindigkeit mit Abstand die häufigste „Hauptunfallursache“ junger Fahrer ist, wird besonders hervorgehoben und die physikalische Erklärung zum Ziel der restlichen Unterrichtszeit erhoben. 	<p>fragend entwickelndes Unterrichtsgespräch (10 min)</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ In der verbleibenden Unterrichtszeit geht es mäßig also um die physikalischen Lerninhalte. Diese den mit Hilfe der Inhaltskomponente „Anhalteweg“ der Software MV1 (siehe Abschnitt 2.3.1.5a) erarbeitet. Hierzu werden die in Abschnitt a) dargestellten Beispiele gemein- 	<p>Unterrichtsgespräch, Reaktionstests Notebook, Projektor, Software „Anhalteweg“ aus MV1 (30 min)</p>

sam mit den Schülern durchgespielt.

- Für jedes Beispiel wird vom Polizisten zur Veranschaulichung eine fiktive Verkehrssituation realitätsnah geschildert und mit Details ausgeschmückt.
- Zugelassene und reale Geschwindigkeiten werden gemeinsam mit den Schülern ausgewählt und jeweils die Restgeschwindigkeit beim Aufprall auf das Hindernis vor der Simulation geschätzt.

Für jedes Beispiel wird mindestens ein Freiwilliger wählt, der den in die Komponente integrierten Reaktionstest durchführt (siehe Abbildung 100).

- Die möglichen Folgen eines Unfalls mit der ermittelten Geschwindigkeit für die beteiligten Fahrzeuge und Personen bezogen auf das jeweils zugrunde gelegte Beispiel werden mit den Schülern gemeinsam erarbeitet.



Abbildung 100: Einsatz der Komponente „Anhalteweg“ der Software „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5. POK Ronsieck von der Polizei Mülheim Ruhr (linkes Bild) bittet freiwillige Schüler zu Reaktionstests bei verschiedenen Geschwindigkeiten an das Notebook (rechtes Bild). Zuvor werden Aufprallgeschwindigkeiten geschätzt und anschließend Abweichungen anhand des Diagramms analysiert.

- Am Ende werden vom Polizisten noch kurz die wichtigsten Ergebnisse gebündelt und ein polizeilicher Unfallbericht (siehe nächsten Abschnitt) dem Lehrer übergeben.

Lehrervortrag
(5 min)

3.3.2.2 Modul L02

<i>Thema des Unterrichtsmoduls:</i>	Analyse eines polizeilichen Unfallfundberichtes aus der näheren Umgebung der Schule.
<i>Position innerhalb der Unterrichtsreihe:</i>	Gewinnung des lebensweltlichen Problems, Formulierung von Zielsetzung und Lösungsstrategie
<i>Unterrichtsphase:</i>	Problemanalyse und Zielsetzung.
<i>Vorausgesetzte Module:</i>	(L01)
<i>Empfohlener Lernort:</i>	Für Gruppenarbeit geeigneter Unterrichtsraum.
<i>Verwendete Methoden:</i>	Kartenabfrage in Gruppen, anschließendes Clustering, Unterrichtsgespräche
<i>Eingesetzte Medien:</i>	Polizeilicher Unfallbericht; Tafel, Kreide; Karteikarten, Stifte, Klebeband.
<i>Benötigte Unterrichtszeit:</i>	1 bis 2 Unterrichtsstunden.

Dieses Modul dient zur Erarbeitung eines lebensweltlichen Problems: Anhand eines Polizeiberichtes soll ein Verkehrsunfall aus der Umgebung der Schüler analysiert und daraus weiterführende Fragestellungen abgeleitet werden, um eine fundierte Rekonstruktion des Unfallhergangs aus der Perspektive eines Sachverständigen zu ermöglichen.

a) Sachaspekte

Als Material steht ein polizeilicher Unfallbericht zur Verfügung (siehe Anhang 5.2.1.2). Der Unfall ereignete sich am 19.08.2004 um etwa 3:30 Uhr, also wenige Wochen vor Beginn der Unterrichtsdurchführung, an der Einmündung der Zinkhüttenstraße in die Mellinghofer Straße (siehe Abbildung 101). Bei der Mellinghofer Straße handelt es sich um eine bekannte, stark befahrene Hauptverkehrsstraße in Mülheim, besagte Einmündung befindet sich auf der Höhe eines Industriegebietes.

Erste Unfallrekonstruktion

Der polizeiliche Unfallbericht (vergleiche Abschnitt 3.2.2.4) enthält neben der Verkehrsunfallanzeige einen ausführlichen Unfallfundbericht, in dem neben den sichtbaren Spuren an Fahrzeugen und Fahrbahn auch die Aussagen der Beteiligten sowie eines Augenzeugen festgehalten sind. Aus den gesamten Angaben des Verkehrsunfallberichtes lässt sich der Unfallhergang zunächst wie folgt rekonstruieren:

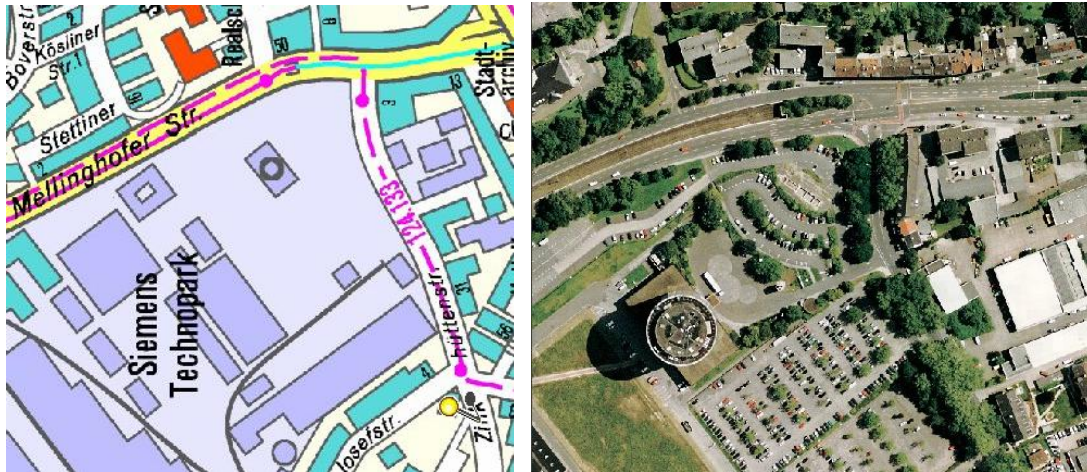


Abbildung 101: Schauplatz des zum lebensweltlichen Problem erhobenen Unfalls. Zu sehen ist die Einmündung der Zinkhüttenstraße in die Mellinghofer Straße, links als Ausschnitt aus einem Stadtplan, rechts in Form eines Luftbildes.

- Die Fahrbahn ist mit einer „Schwarzdecke“ versehen, einer speziellen Asphalt-Mischung, die gute Voraussetzungen für die Reifenhaftung bietet. Beide Straßen waren trocken und in gutem Zustand. Eine Bremsverzögerung von bis zu 8 m/s^2 sollte daher als realistisch angenommen werden können. Zum Unfallzeitpunkt war die Straßenbeleuchtung in Betrieb und die Sicht nicht beeinträchtigt.
- Am Unfall beteiligt waren zwei Fahrzeuge mit jeweils zwei Insassen. PKW 1 befuhr die Zinkhüttenstraße in Richtung der besagten Einmündung und war mit einem jungen, alkoholisierten Fahrer und dessen weiblicher Discobekannntschaft besetzt. PKW 2 war auf der Mellinghofer Straße unterwegs und wurde von einem älteren Herrn gesteuert, dessen Frau auf dem Beifahrersitz eingeschlafen war.
- Als der Fahrer von PKW 1 bemerkte, dass die Ampel Rot zeigte, führte er eine Vollbremsung durch, hinterließ dabei eine 36 m lange Bremsspur und kam erst im Einmündungsbereich auf der Mellinghofer Straße zum Stehen. Der Fahrer des von links herankommenden PKW 2 leitete nach Erkennen des Hindernisses ebenfalls eine Vollbremsung ein, prallte nach 1,5 m Bremsweg gegen PKW 1 und schob diesen gegen einen Laternenpfahl am rechten Straßenrand.
- Beide Fahrzeuge wurden stark beschädigt. Die Beifahrerin auf PKW 1 wurde aufgrund der durch den Laternenpfahl eingedrückten Tür schwer verletzt, die Insassen des PKW 2 wurden leicht verletzt.

Anordnung und Unfallhergang lassen sich durch eine Skizze wie in Abbildung 102 veranschaulichen. Im Vergleich zum realen Straßenbild ist die Darstellung stark vereinfacht und nicht maßstabsgetreu.

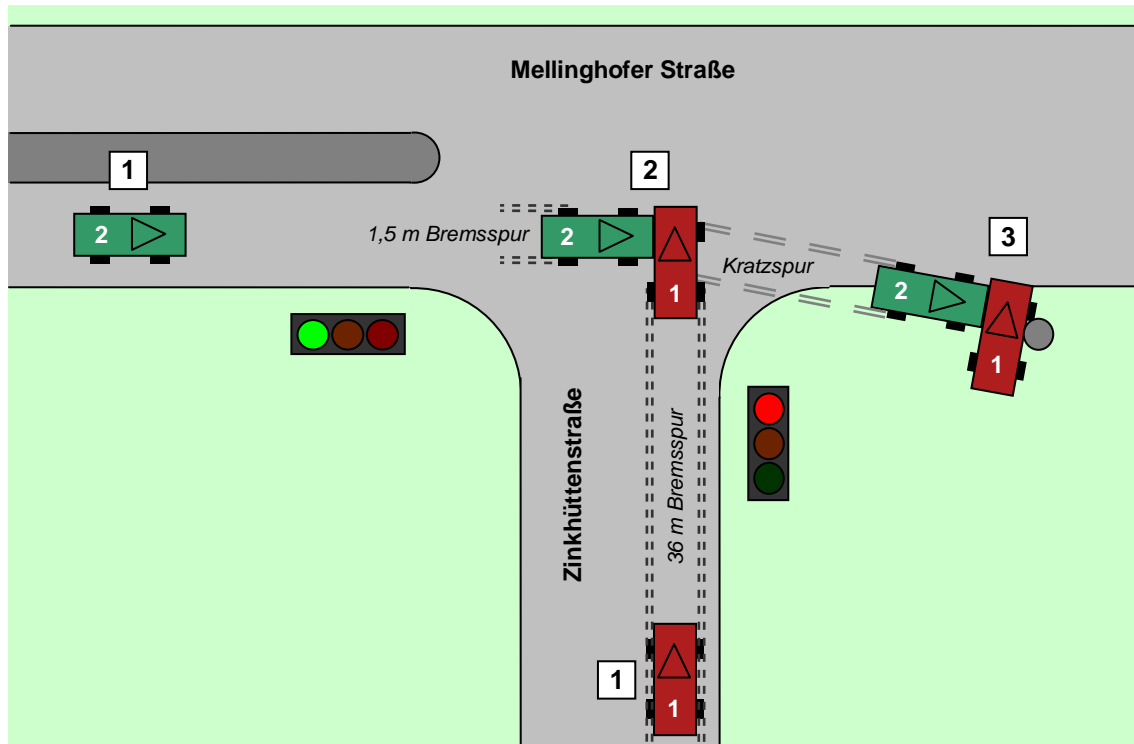


Abbildung 102: Skizze des Unfallhergangs, eingeteilt in drei zeitliche Abschnitte, gekennzeichnet durch weiß unterlegte Ziffern: (1) PKW 1 (rot) beginnt vor der roten Ampel auf der Zinkhüttenstraße eine Vollbremsung, während PKW 2 (grün) von links kommend die Mellinghofer Straße befährt. (2) PKW 1 ist im Mündungsbereich zum Stehen gekommen und wird von PKW 2 seitlich erfasst. (3) PKW 2 schiebt PKW 1 gegen einen Laternenpfahl am Straßenrand, wodurch die Beifahrertür eingedrückt wird.

Weiterführende Fragestellungen

Die Schüler sollen sich in die Rolle eines Sachverständigen hineinversetzen, der im Auftrag der Polizei den Unfallhergang anhand der verfügbaren Spuren rekonstruieren und auch hinsichtlich der Schuldfrage begutachten soll. Hierbei sind unter anderem die folgenden Fragestellungen interessant:

- I. Wie schnell wird PKW 1 gewesen sein, bevor er den Bremsvorgang einleitet?
- II. Bei welcher Geschwindigkeit von PKW 1 hätte - bei sonst gleichen Bedingungen - das Überfahren der Ampel und somit der Unfall vermieden werden können?
- III. Welche Zeit wird der Bremsvorgang in Anspruch genommen haben?
- IV. Wenn der Fahrer von PKW 2 durch das Bremsgeräusch auf die Gefahr aufmerksam wurde, was lässt sich damit über seine Reaktionszeit aussagen?
- V. Hätte der Fahrer von PKW 2 seinerseits den Unfall verhindern können, wenn seine Reaktionszeit kürzer gewesen wäre?

Zur Beantwortung dieser Fragen ist die Kenntnis der folgenden physikalischen Größen und Zusammenhänge erforderlich:

- Ort, Zeit, Geschwindigkeit und Beschleunigung sind die zentralen physikalischen Größen, die bekannt sein müssen.

- Die Fahrzeuge führen anfangs gleichförmige Bewegungen, während des Bremsvorgangs gleichmäßig verzögerte Bewegungen durch. Diese Bewegungsarten müssen daher ebenfalls bekannt sein.
- Für diese Bewegungsarten sind mindestens die Abhängigkeiten von Ort und Geschwindigkeit von der Zeit erforderlich, um aus den Spuren und Angaben quantitativ die Fragen zu beantworten.
- Um die Bedeutung des Fahrbahnzustandes einschätzen zu können, ist ein elementares Verständnis der Haftung und des möglichen Gleitens des Reifens auf der Fahrbahn erforderlich.

b) Lernziele

- Die Schüler sollen in der Rolle eines Sachverständigen den Unfallhergang zunächst qualitativ anhand des polizeilichen Unfallberichtes erarbeiten. Dabei sollen sie
 - das Szenario aus der realen Welt in seiner Gesamtheit erfassen und in ihrer Lebenswirklichkeit verankern,
 - sich mit der Rolle und dem Blickwinkel des Sachverständigen so vertraut machen, dass in den folgenden Modulen darauf zurückgegriffen werden kann,
 - das komplexe Problem analytisch in überschaubare Teilprobleme erlegen und dies als übertragbare Lösungsstrategie begreifen, und
 - konkrete Fragen formulieren, welche sich aus dem gegebenen Lebensweltproblem ableiten lassen.
- Die Schüler sollen erkennen, dass die Kenntnis physikalischer Zusammenhänge zur Lösung des Problems erforderlich ist. Hierzu sollen sie
 - erste Ideen entwickeln, welche Angaben in dem Unfallbericht in welcher Weise zur Problemlösung nützlich sein könnten,
 - selbständig erkennen, welche Kenntnisse über physikalische Größen und Zusammenhänge ihnen zur Problemlösung noch fehlen, und
 - die Planung der folgenden Module als sinnvolle Schritte auf dem Weg zur Lösung des gegebenen Problems interpretieren.

c) Unterrichtsverlauf

- Der Lehrer knüpft explizit an den Besuch der Polizei an. Hierzu wird einerseits das Modul hinsichtlich der hinterlassenen Eindrücke reflektiert, andererseits werden die wichtigsten angesprochenen Probleme noch einmal benannt:
 - Junge Fahrer zwischen 18 und 24 Jahren sind überproportional an Verkehrsunfällen beteiligt.
 - Schwere Verkehrsunfälle mit Toten und Verletzten werden häufiger von männlichen Fahrern verursacht.
 - Für den Verursacher eines schweren Unfalls kann aufgrund der vielfältigen Folgen die gesamte bisherige Lebensplanung obsolet sein.
 - Bereits geringe Geschwindigkeitsüberschreitungen können zu hohen Aufprallgeschwindigkeiten führen.
 - Bei hohen Geschwindigkeiten kann der Fahrer durch eine gute Reaktionszeit nur relativ wenig zur Vermeidung eines Unfalls beitragen.
- Dann führt der Lehrer das konkrete lebensweltliche Problem ein:
 - Der Lehrer berichtet möglichst lebensnah über den Unfall, welcher im polizeilichen Unfallbericht geschildert ist, unter Einbeziehung von Hintergrundinformationen durch den Polizisten.
 - Dann bittet er die Schüler, der Polizei bei der Klärung der Schuldfrage sowie der Bemessung der Strafhöhe zu unterstützen: Sie sollen die Rolle eines Sachverständigen einnehmen und der aufgrund der vorliegenden Informationen des Unfallhergang möglichst detailliert quantitativ rekonstruieren und am Computer simulieren.
 - Die Aufgabe wird als nicht sofort und ohne entsprechende Kenntnisse lösbar herausgestellt. In wenigen Wochen soll das Ziel jedoch erreichbar sein.
- Der Lehrer bereitet die Schüler auf die erste Gruppenarbeit zu diesem Thema vor:
 - Der polizeiliche Unfallbericht wird kurz hinsichtlich seines groben Aufbaus vorgestellt,
 - es werden (je nach Kursgröße) 3 bis 6 Gruppen gebildet

Unterrichtsgespräch
(5 - 10 min)

Lehrervortrag
(3 - 10 min)

Gruppenarbeit Teil 1:
Arbeitsauftrag und
Gruppenbildung
*Unfallberichte, Kartei-
karten, Lackstifte*
(3 - 10 min)

- und jede Gruppe mit Kopien des Unfallberichts sowie Karteikarten, Stiften und Klebeband ausgestattet,
- und es wird der Arbeitsauftrag für die Gruppenarbeit vorgestellt (eventuell auch an der Tafel festgehalten).
- Die Schüler bearbeiten gruppenweise den polizeilichen Unfallbericht unter folgenden Aufgabenstellungen:
- Nachdem jeder Schüler den Unfallbericht für sich durchgearbeitet hat, sollen die Gruppen den Unfallhergang diskutieren und sich auf eine Interpretation einigen.
 - Jede Gruppe soll eine Skizze (wie in Abbildung 102) des Unfalls erstellen, aus welcher sowohl der Unfallhergang, als auch die von der Polizei vorgefundenen Spuren hervorgehen (siehe Abbildung 103).
 - Die Schüler sollen Fakten sammeln und auf den Karten notieren, von welchen sie annehmen, dass sie ihnen bei der physikalisch stimmigen Rekonstruktion des Unfallhergangs hilfreich sein könnten.
 - Neben den eigentlichen Fakten sollen auch physikalische Begriffe oder Erklärungsansätze, die den Schülern aus ihrem Alltagsverständnis bereits bekannt sind, aufgenommen werden.
- Es folgt die gegenseitige Präsentation und Diskussion der Ergebnisse der Kleingruppen, und zwar auf folgende Weise:
- Unfallskizzen und Karteikarten werden von den Schülern an die Tafel geklebt und dabei „geclustert“: Gleich schriftete Karten werden übereinander geklebt, te Beschriftungen werden zu Gruppen (Clustern) zusammengefasst (siehe Abbildung 103).
 - Dann haben die Schüler gruppenweise die Möglichkeit, zur Tafel zu kommen, die Ergebnisse der anderen Gruppen zur Kenntnis zu nehmen und bei Unklarheiten den anderen Fragen zu stellen.
- Schließlich werden im Plenum die Ergebnisse der Gruppen gebündelt und nutzbar gemacht:
- Aus den angefertigten Skizzen wird eine gemeinsame Skizze an der Tafel gefertigt (siehe Abbildung 103) und daran der Unfallhergang (qualitativ) diskutiert.
 - Die Fakten, welche von den Schülern aus dem

Gruppenarbeit Teil 2:
Durchführung des
Arbeitsauftrags in den
Kleingruppen

*Unfallberichte, Kartei-
karten, Lackstifte*

(15 - 30 min)

Gruppenarbeit Teil 3:
Präsentation und
Diskussion der
Gruppenergebnisse

*fertige Karteikarten,
Klebeband, Tafel,
Kreide*

(6 - 10 min)

Unterrichtsgespräch

*fertige Karteikarten,
Tafel, Kreide*

(9 - 15 min)

richt als wichtig und für die Rekonstruktion relevant destilliert wurden, werden zusammengefasst.

- Zusammengetragene Begriffe und Lösungsansätze, die dem Vorverständnis der Schüler entstammen, werden ebenfalls festgehalten und gegebenenfalls präzisiert.

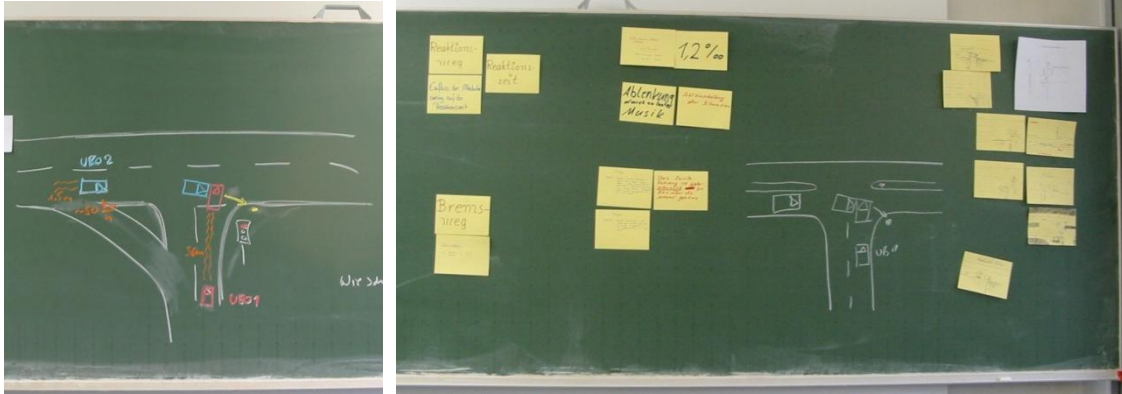


Abbildung 103: Auswertung eines polizeilichen Unfallberichtes. Zur Rekonstruktion des Unfallherganges werden Skizzen erstellt, sowie in Kartenabfragen in Kleingruppen Erklärungsansätze und weiterführende Fragestellungen gesammelt. Die Karten werden „geclustert“ (in Gruppen zusammengefasst), diskutiert und daraus gemeinsam das weitere Vorgehen geplant.

- Der Lehrer erläutert den Schülern das weitere Vorgehen in den nächsten Unterrichtsstunden: Sie sollen zunächst die ansatzweise benannten Größen und Phänomene experimentell untersuchen, daraus physikalische Modelle entwickeln und diese schließlich verwenden, um den Unfallhergang mit dem Computer zu simulieren und noch offene Fragen zu beantworten, bevor noch einmal der Polizeibeamte kommt.

Lehrervortrag
(4 - 5 min)

3.3.2.3 Modul E01 (E wie Experimente)

<i>Thema des Unterrichtsmoduls:</i>	Experimentelle Untersuchung der Zeitabhängigkeit von Weg und Geschwindigkeit für spezielle Translationen.
<i>Position innerhalb der Unterrichtsreihe:</i>	Gewinnung empirischer Daten zur Erarbeitung der Grundlagen zur Lösung des Lebensweltproblems.
<i>Unterrichtsphase:</i>	Experimentelle Untersuchung.
<i>Vorausgesetzte Module:</i>	(L02)
<i>Empfohlener Lernort:</i>	Für Schülerversuche geeigneter Physikraum.
<i>Verwendete Methoden:</i>	Schülerversuche in Lernstationen.
<i>Eingesetzte Medien:</i>	5 verschiedene, räumlich hinreichend getrennte Schülerversuche mit ausführlichen Versuchsanleitungen.
<i>Benötigte Unterrichtszeit:</i>	4 bis 6 Unterrichtsstunden.

In diesem Modul geht es insbesondere um die experimentelle Untersuchung der physikalischen Größen und Zusammenhänge, die für die Rekonstruktion des Unfallhergangs anhand des polizeilichen Unfallberichtes (siehe Abschnitt 3.3.2.2) erforderlich sind. Zu diesem Zweck werden vom Lehrer 5 verschiedene Schülerversuche vorbereitet, die nach der Methode „Lernen an Stationen“ von den Schülern durchgeführt werden, die im Abschnitt a) näher beschrieben wird. Anhand der Ergebnisse dieser Versuche werden in Modul E02 (Abschnitt 3.3.2.4) Definitionen der zu untersuchenden Größen sowie Gesetzhypothesen erarbeitet, die in Modul M02 (Abschnitt 3.3.2.6) in graphische Modelle überführt werden, welche wiederum in Modul M03 (Abschnitt 3.3.2.7) anhand der Ergebnisse aus dem aktuellen Modell überprüft werden.

a) Methode

Das Lernen an Stationen ist eine Form der arbeitsteiligen Gruppenarbeit. Hierzu bereitet der Lehrer eine ausreichende Anzahl von Lernstationen vor, die räumlich soweit voneinander getrennt sind, dass jeweils eine Gruppe von Schülern hinreichend ungestört daran arbeiten kann. Ist der verwendete Raum hierzu nicht groß genug, können auch - wenn möglich - einzelne Stationen in benachbarte Räume⁴³ ausgelagert werden.

Jede Lernstation besteht aus einer Arbeitsanleitung, welche die Schüler ausführlich und detailliert über Fragestellung, Durchführung und Auswertung der jeweiligen Aufgabe informiert, sowie allen hierfür erforderlichen Arbeitsmaterialien. Die Anleitungen sollten so formuliert sein, dass sie von den Schülern ohne weitere Hilfestellungen verstanden und umgesetzt werden können. Die erforderlichen Bearbeitungszeiten sollten sinnvollerweise für die einzelnen Stationen in der gleichen Größenordnung liegen.

⁴³ Zur Wahrung der Aufsichtspflicht kann evtl. die Hilfe einer zweiten Lehrkraft erforderlich sein.

Bei der Unterrichtsdurchführung werden die Schüler in maximal so viele Gruppen eingeteilt, wie Lernstationen zur Verfügung stehen. Insgesamt soll jede Gruppe jede einzelne Lernstation durchlaufen, wobei zu jedem Zeitpunkt alle Gruppen an einer Station beschäftigt sind.

Im vorliegenden Fall bestehen die Lernstationen aus Schülerversuchen, welche jeweils einen spezifischen physikalischen Zusammenhang behandeln. Die Arbeitsanleitungen geben dabei detaillierte Anweisungen zu Aufbau, Durchführung und Auswertung des Versuchs. Zentrale Aufgabe ist dabei in der Regel die Aufnahme von Messreihen und deren graphische Auswertung in Diagrammen. Die Auswertung soll jeweils im Unterricht begonnen und in Heimarbeit von jedem einzelnen fertig gestellt werden. Auf diese Weise können möglicherweise auftretende Differenzen bei den Bearbeitungszeiten der Stationen aufgefangen werden

Die konkreten Schülerversuche einschließlich der jeweiligen Sachaspekte sind in Abschnitt c) ausführlich dargestellt, die Arbeitsmaterialien für die Schüler sind im Anhang unter den Abschnitten 5.2.1.3 bis 5.2.1.7 abgedruckt.

b) Lernziele

- Die Schüler sollen eigenständig die Arbeitsanleitungen durcharbeiten, verstehen und die Versuche entsprechend durchführen. Dadurch soll
 - die Fähigkeit zum eigenständigen Arbeiten verbessert,
 - der sachgemäße Umgang mit physikalischen Geräten praktiziert,
 - Formulierungen, Arbeitsweisen und Strategien der Physik kennen gelernt,
 - die Fähigkeit zum präzisen und systematischen Beobachten gefördert,
 - die Arbeitsorganisation und Kommunikation in Gruppen geübt werden.
- Den Schülern soll klar werden, dass und inwiefern die durchgeführten Experimente und die anhand dessen zu erarbeitenden Größen und Zusammenhänge zur Lösung des lebensweltlichen Kontextproblems beitragen.

c) Lernstationen

Jeder der Schülerversuche beschäftigt sich mit einem bestimmten physikalischen Zusammenhang aus dem Themenbereich der einfachen geradlinigen Bewegungen sowie Haft- und Gleitreibung. Ziel und Konzeption der Versuche sind dabei für alle teilnehmenden Lerngruppen gleich, die konkrete Anordnung und die verwendeten Materialien variieren je nach Ausstattung der physikalischen Sammlung der jeweiligen Schulen.

Jede Versuchsanleitung ist mit beschrifteten Fotos aller verwendeten Materialien und Anordnungen sowie illustrierenden Skizzen versehen, um diese so unmissverständlich und selbsterklärend wie möglich zu gestalten. Aufgrund der Unterschiede bei den zur Verfügung stehenden Geräten mussten daher auch die Arbeitsanleitungen teilweise (bei gravierenden Abweichungen) schulspezifisch angepasst werden.

Die Originalmaterialien sind im Anhang unter 5.2.1.3 bis 5.2.1.7 abgebildet. Jeder Versuch ist mit der Nummer des Moduls und einem kleinen Buchstaben (E01a, E01b, etc.) gekennzeichnet. Gibt es mehrere schulspezifische Varianten, sind diese anhand von Indizes an ihren Kennzeichnungen zu erkennen.

In **Tabelle 10** sind alle Stationen im Überblick zusammengefasst, in den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Versuche dann noch einmal hinsichtlich Aufbau und Durchführung ausführlicher dargestellt. Gibt es mehrere schulspezifische Versionen, ist jeweils nur eine davon ausgeführt.

Station	Kennzeichnung	Untersuchungsgegenstand	Gesucht
01	E01a	Gleichförmige Bewegung	$s(t) \rightarrow v$
02	E01b	Gleichmäßig beschleunigte Bewegung	$s(t) \rightarrow v$
03	E01c		$v(t) \rightarrow a ; v(s)$
04	E01d	Gleichmäßig verzögerte Bewegung	$s(t) \rightarrow v$
05	E01e	Haftung und Gleitreibung (qualitativ)	$F_{\text{haften/gleiten}}(m, A, v)$

Tabelle 10: Übersicht der Lernstationen in Modul E01. Angegeben ist jeweils die Nummer der Station, die Kennzeichnung innerhalb der modularen Gliederung, der physikalische Gegenstand, der untersucht wird, sowie die Zusammenhänge und Größen, welche bei der Auswertung ermittelt werden sollen.

ca) Station 01: $s(t)$ -Gesetz der gleichförmigen Bewegung***Versuchsaufbau***

Für diesen Versuch werden ausschließlich Gegenstände benötigt, die in fast jedem Haushalt zu finden sind - insofern kann diese Station durchaus als Freihandexperiment⁴⁴ bezeichnet werden:

- Ein Spielzeugfahrzeug, das sich motorgetrieben mit konstanter Geschwindigkeit fortbewegen kann,
- eine Tropfenflasche, wie sie etwa zur Medikamentendosierung verwendet wird, welche in annähernd gleichen Zeitintervallen Flüssigkeitstropfen erzeugt,
- eine farbige Flüssigkeit, die keine bleibenden Rückstände hinterlässt,
- Klebeband, eine Uhr, ein langes Maßband und ausreichend Platz auf dem Boden.

Die Tropfenflasche wird mit einer farbigen Flüssigkeit gefüllt und mit dem Klebeband so am Fahrzeug befestigt, dass die Tropfen ungehindert während der Fahrt auf den Untergrund fallen können (siehe Abbildung 104 links).

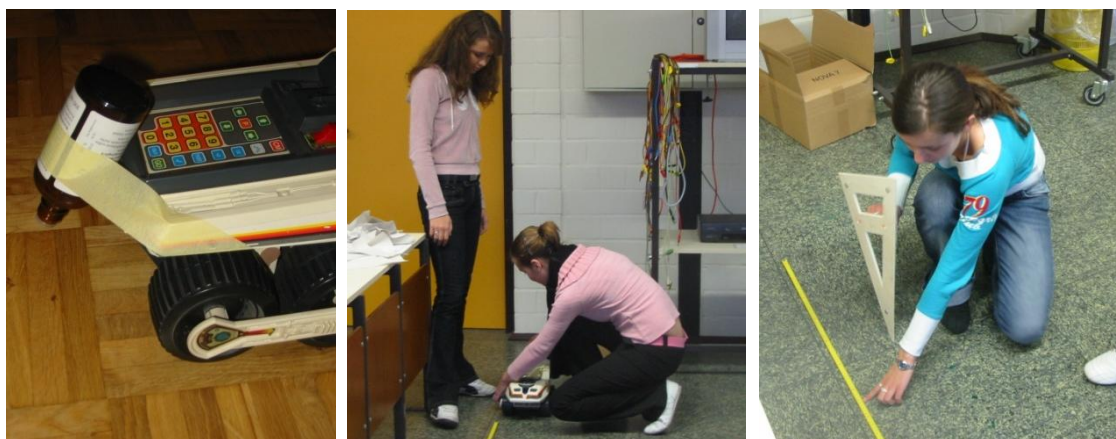


Abbildung 104: Aufbau und Durchführung Lernstation 1. Ein motorgetriebener Spielzeugwagen fährt mit konstanter Geschwindigkeit. Eine daran befestigte Tropfenflasche ist mit einer farbigen Flüssigkeit gefüllt und lässt (in guter Näherung) in konstanten Zeitintervallen Tropfen dieser Flüssigkeit entweichen. Bei der Fahrt hinterlässt die Anordnung also (näherungsweise) äquidistante Tropfen.

Versuchsdurchführung

Vor dem eigentlichen Versuchsbeginn wird die Tropfenflasche, nachdem sie bereits am Fahrzeug befestigt wurde, geöffnet und die mittlere Tropffrequenz bestimmt, indem während einer vorgegebenen Zeit die Tropfen gezählt und danach die Zahl der Tropfen durch die Zeit dividiert wird.

⁴⁴ Freihandexperimente sind Versuche, die mit einfachen Materialien durchgeführt werden können, für die also keine speziellen Laborgeräte erforderlich sind. Solche Versuche haben einen direkteren Bezug zur Lebenswelt der Schüler als professionell aufbereitete Schulversuche und regen zur Wiederholung außerhalb des schulischen Kontextes an. Über die vielfältigen Möglichkeiten von Freihandexperimenten wurde 1998 an der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg eine internationale Konferenz mit dem Titel „Hands on - Experiments in Physics Education“ durchgeführt (siehe ICPE-GIREP 1998).

Dann wird das Fahrzeug so mit konstanter Geschwindigkeit in Bewegung gesetzt, dass es einige Meter ungestört auf ebenem Untergrund fahren kann und dabei sichtbare Tropfen hinterlässt. Selbstredend sollte eine gut zu reinigende Fläche ausgewählt werden.

Nach der Fahrt wird ein beliebiger Tropfen als Nullpunkt gewählt und die Abstände der folgenden Tropfen von diesem Nullpunkt mit dem Maßband bestimmt.

Versuchsauswertung

Anhand der experimentell ermittelten Tropffrequenz wird aus der Nummer jedes Tropfens die bis dahin vergangene Zeit t ermittelt und dem entsprechenden Messwert für die gefahrene Strecke s zugeordnet. Die Wertepaare werden dann in ein $s(t)$ -Diagramm eingetragen. Da es sich um eine gleichförmige Bewegung handelt, sollte sich durch die Punkte sinnvoll eine Ursprungsgerade legen lassen. Die Steigung der Geraden entspricht der Geschwindigkeit v . In Abbildung 105 ist ein solches Diagramm für virtuelle, aber mit den verwendeten Materialien realistische Messwerte dargestellt.

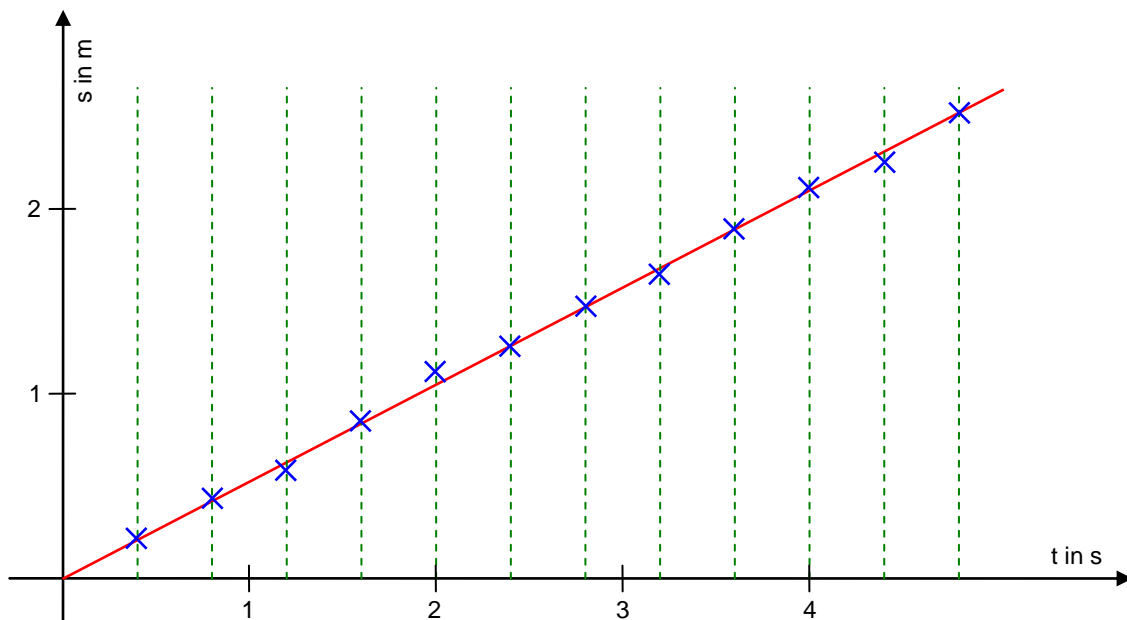


Abbildung 105: Auswertung Lernstation 1. Aufgetragen ist die gefahrene Strecke gegen die Zeit. Da es sich um eine gleichförmige Bewegung handelt, lassen sich die Messwerte (blau) gut durch eine Ausgleichsgerade (rot) annähern. Die Zeitpunkte - dargestellt durch die grünen gestrichelten Linien - werden rechnerisch aus der Tropffrequenz bestimmt und sind daher im Diagramm exakt äquidistant.

cb) Station 02: $s(t)$ -Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung

Versuchsaufbau

Gegeben ist ein Rollwagen, der sich geradlinig und reibungsarm auf einer passenden Schiene bewegen kann. An dem Wagen ist ein Faden befestigt, an dessen Ende ein Massestück angebracht ist. Der Faden wird über eine Umlenkrolle am Ende der Schiene geführt, sodass die Gewichtskraft des Massestücks - vermittelt durch den Faden - in horizontaler Richtung auf den Wagen wirkt (vergleiche Abbildung 106).

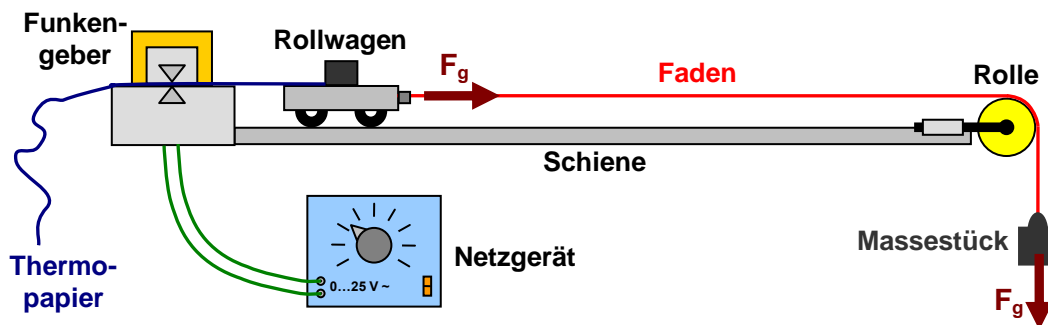


Abbildung 106: Aufbau Lernstation 2. Ein auf einer Schiene reibungsarm beweglicher Rollwagen wird durch ein fallendes Massestück an einem Faden mittels einer Umlenkrolle gleichmäßig beschleunigt. Dabei wird ein Streifen Thermopapier durch eine Anordnung gezogen, die mit einer Frequenz von 50 Hz (definiert durch die Frequenz der Netzspannung) Funken erzeugt, welche auf der Beschichtung des Papiers deutliche Markierungen hinterlassen. Aufgrund des bekannten Zeitintervalls zwischen zwei Markierungen kann daraus die Abhängigkeit der gefahrenen Strecke von der vergangenen Zeit ermittelt werden.

An dem Wagen ist außerdem ein Streifen Thermopapier so befestigt, dass er bei Bewegung des Wagens durch eine Anordnung gezogen wird, die mittels einer Wechselspannung von etwa 20 V zwischen zwei Metallspitzen kleine Funken erzeugt. Jeder Funken hinterlässt auf dem Thermopapier, das zwischen den Metallspitzen hindurch gleitet, eine deutlich sichtbare Markierung. Die Frequenz Funkenerzeugung wird durch die Frequenz der Wechselspannung aus dem angeschlossenen Netzgerät festgelegt, diese wiederum entspricht der Frequenz der Netzspannung, also 50 Hz.

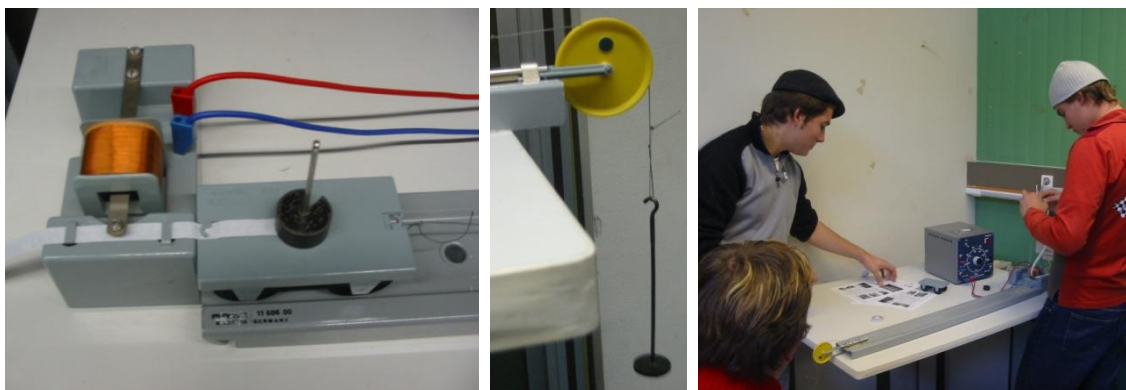


Abbildung 107: Durchführung Lernstation 2. Zu sehen ist links der Rollwagen auf der Schiene sowie die Anordnung zur Erzeugung der Markierungen auf dem Thermopapierstreifen, in der Mitte die Umlenkrolle mit dem Massestück und rechts Schüler am Berufskolleg Saarn bei der Durchführung.

Versuchsdurchführung

Der Wagen wird an den Anfang der Schiene gesetzt und festgehalten, der Faden über die Rolle gelegt und das Netzgerät eingeschaltet. Dann wird der Wagen losgelassen, so dass er - durch das Massestück gleichmäßig beschleunigt - die Schiene entlang rollt (siehe Abbildung 107). Ist er am Ende angekommen, wird die Messung durch Ausschalten des Netzgerätes beendet. Der Thermostreifen wird von dem Wagen entfernt. Mittels eines möglichst genauen Lineals werden die Abstände jedes Punktes vom Nullpunkt gemessen, der durch viele übereinander liegende Markierungen erkennbar ist.

Versuchsauswertung

Anhand der bekannten Frequenz der Netzspannung wird aus der Nummer jeder Markierung die bis dahin vergangene Zeit t ermittelt und dem entsprechenden Messwert für die gefahrene Strecke s zugeordnet. Die Wertepaare werden dann in ein $s(t)$ -Diagramm eingetragen. Da aufgrund der hohen Frequenz sehr viele Markierungen zur Verfügung stehen, ist eine Eintragung etwa jedes fünften bis zehnten Punktes ausreichend.

Da es sich um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung handelt, sollten die Punkte hinreichend genau auf einer parabelförmigen Kurve liegen (vergleiche Abbildung 108).

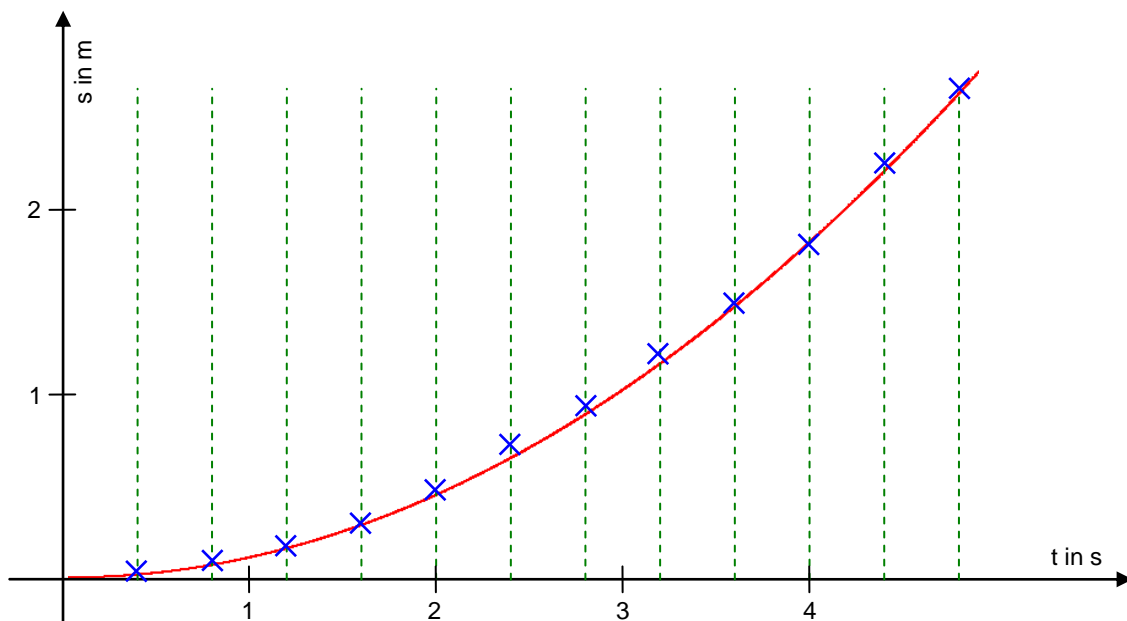


Abbildung 108: Auswertung Lernstation 2. Aufgetragen ist die gefahrene Strecke gegen die Zeit. Da es sich um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung handelt, liegen die Messwerte (blau) näherungsweise auf einer Parabel (rot). Auch in diesem Versuch wird die Zeit rechnerisch ermittelt (diesmal aus der Frequenz der Netzspannung), sodass die Zeitpunkte (grüne Linien) wieder genau äquidistant sind.

cc) Station 03: $v(t)$ - und $v(s)$ -Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung***Versuchsaufbau***

Für diesen Versuch wird eine Luftkissenfahrbahn mit einem passenden Gleiter benötigt, wie sie klassischerweise in jeder Sammlung vorhanden ist. Auf einem solchen Gerät schwebt der Gleiter auf einem Luftpolster (die Luft tritt aus vielen kleinen Löchern in der Fahrbahn aus) nahezu reibungsfrei. Daher reicht es aus, die Fahrbahn durch einseitige Erhöhung um wenige Millimeter in eine Schräglage zu bringen, um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung des Gleiters zu erzielen.

Auf den Gleiter wird ein etwa 2 cm breiter Reiter aufgesteckt. Eine Lichtschranke - wie sie als fertige Elemente zum Zubehör der Luftkissenfahrbahnen gehören - wird so angebracht, dass der Gleiter sie bei seiner Bewegung auf der Fahrbahn mit dem Reiter unterbrechen kann. Horizontal soll die Lichtschranke frei positionierbar sein, was etwa (wie in Abbildung 109) durch Verschieben auf einer entsprechend horizontal angebrachten Stativstange erreicht werden kann.

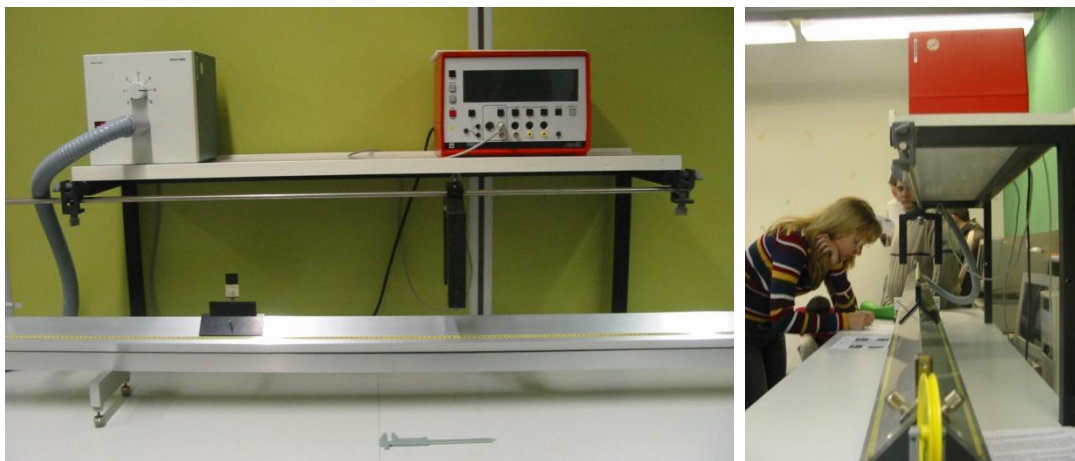


Abbildung 109: Aufbau und Durchführung Lernstation 3. Ein Wagen ist auf einer Luftkissenfahrbahn mit vernachlässigbar kleiner Reibung beweglich und wird (wie in Station 2) durch ein Massstück an einem Faden mittels einer Umlenkrolle beschleunigt. An dem Wagen ist ein Reiter definierter Breite so angebracht, dass er während des Beschleunigungsvorgangs eine Lichtschranke unterbricht. Der Vorgang wird für verschiedene Positionen der Lichtschranke wiederholt und jeweils aus der Verdunklungszeit die Momentangeschwindigkeit des Wagens bestimmt.

Die Lichtschranke wird mit einem Gerät verbunden, das in der Lage ist, möglichst präzise (in ms) die Verdunklungszeit beim Durchgang des Reiters zu messen. Auch ein solches Gerät gehört zum Standardzubehör jeder Luftkissenfahrbahn. Über die konkreten Bedienschritte (die je nach Hersteller und Geräteversion nicht immer leicht verständlich sind) werden die Schüler in der Arbeitsanleitung kurz und präzise informiert.

Versuchsdurchführung

Zunächst wird der Gleiter bis an den Anschlag der erhöhten Seite der Fahrbahn geschoben - die Startposition. Die Lichtschranke wird so positioniert, dass der Strahlengang soeben nicht unterbrochen wird. Diese Position wird - etwa an der horizontalen Stativ-

stange - markiert und als Nullpunkt festgelegt. Außerdem wird mittels einer Schieblehre die Breite des Reiters bestimmt.

Dann wird der Kompressor für die Luftkissenfahrbahn eingeschaltet und die eigentliche Messreihe kann beginnen. Jeder Messvorgang ist dabei wie folgt durchzuführen:

- Die Lichtschranke wird in eine neue Position verschoben und der Abstand vom festgelegten Nullpunkt gemessen. Der Gleiter wird wieder in Startposition gebracht und dort festgehalten. Das Gerät für die Messung der Verdunklungszeit wird zurückgesetzt, ebenso eine weitere, von Hand zu bedienende Stoppuhr.
- Dann wird der Wagen losgelassen und gleichzeitig - sinnvollerweise von derselben Person - die Zeitmessung mit der Stoppuhr gestartet. Die Zeitmessung wird beendet, sobald der Gleiter die Lichtschranke passiert hat.
- Die Werte für die Verdunklungszeit und die Laufzeit des Wagens werden von den entsprechenden Geräten abgelesen und zusammen mit der Position der Lichtschranke als Werte-Tripel festgehalten.

Mindestens zehn Messvorgänge sollten durchgeführt werden.

Versuchsauswertung

Zur Auswertung des Versuchs muss zunächst für jeden Messvorgang die Momentangeschwindigkeit berechnet werden. Diese ergibt sich durch den Quotienten aus der Breite des Reiters und der jeweiligen Verdunklungszeit. Diese Information wird in den Arbeitsmaterialien nicht explizit vorgegeben. Es erfolgt aber der Hinweis, dass die Bewegung während dieses kurzen Zeitabschnitts wie eine gleichförmige Bewegung in Station 01 behandelt werden kann. Dadurch sind die Schüler angehalten, bereits eigenständige Vorüberlegungen für die spätere Definition der Geschwindigkeit anzustellen.

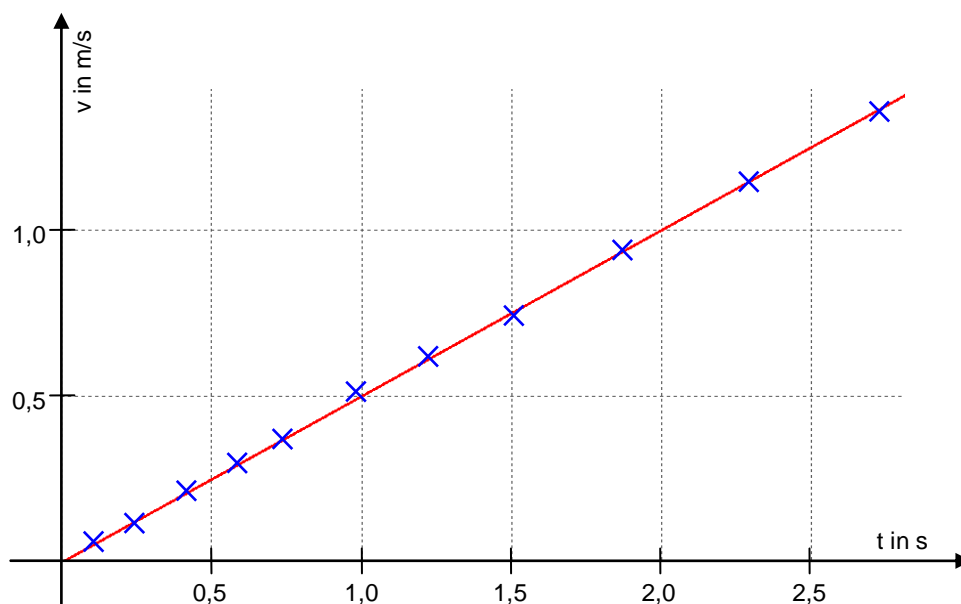


Abbildung 110: Auswertung 1 Lernstation 3. Aufgetragen ist die Momentangeschwindigkeit gegen die Zeit. Da es sich um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung handelt, liegen die Messwerte (blau) näherungsweise auf einer Geraden (rot). Die Geschwindigkeit wurde aus der Breite des Reiters und der Verdunklungszeit ermittelt, die Zeit manuell mittels einer Handstoppuhr.

Die Schüler erstellen aus den Messwerten zwei Diagramme: In einem wird die Momentangeschwindigkeit gegen die Laufzeit des Wagens aufgetragen, im anderen gegen den Weg. Da es sich um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung handelt, lässt sich das $v(t)$ -Diagramm (siehe Abbildung 110) durch eine lineare Funktion, für das $v(s)$ -Diagramm (siehe Abbildung 111) durch eine Wurzelfunktion annähern (siehe Modul E02, Abschnitt 3.3.2.4).

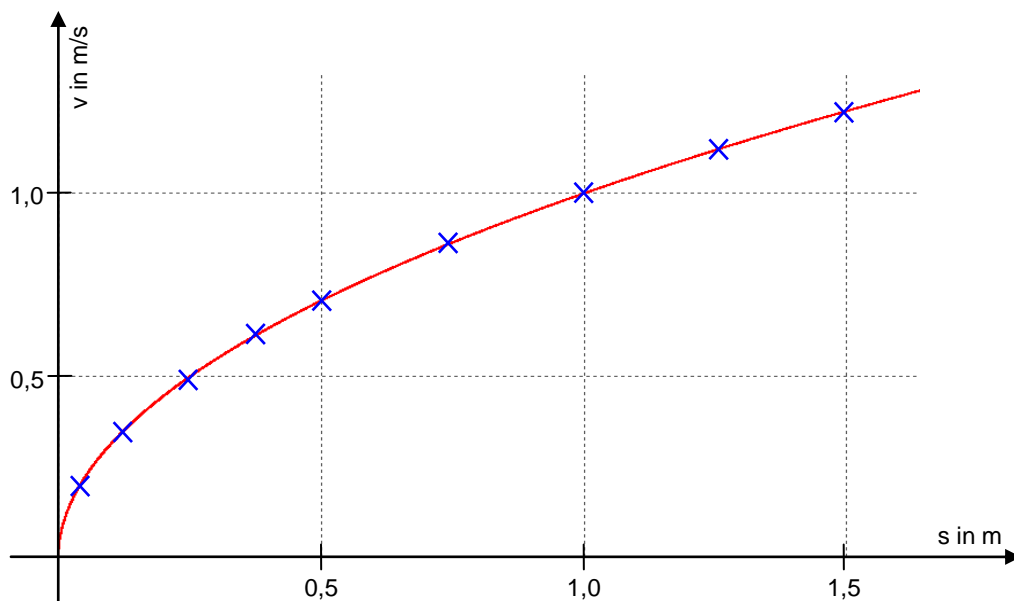


Abbildung 111: Auswertung 2 Lernstation 3. Aufgetragen ist die Momentangeschwindigkeit gegen die Strecke. Die Messwerte (blau) liegen näherungsweise auf einer Wurzelfunktion (rot), wie in Modul E02 gezeigt wird.

cd) Station 04: $s(t)$ -Gesetz der gleichmäßig verzögerten Bewegung**Versuchsaufbau**

Ähnlich wie Station 01 ist dieser Versuch nah an einem Freihandexperiment. Zwar kommen auch Geräte aus der Sammlung zum Einsatz, diese werden aber nicht bestimmungsgemäß verwendet, sondern lediglich zum improvisierten Aufbau einer schiefen Ebene verwendet. Eine Variante ist in Abbildung 112 zu sehen. Die schiefe Ebene hat den Zweck, einen Rollwagen auf eine hinreichend genau reproduzierbare Startgeschwindigkeit zu beschleunigen.



Abbildung 112: Lernstation 4: Weg-Zeit-Gesetz der gleichmäßig verzögerten Bewegung. Ein Rollwagen wird durch Hinabrollen einer schiefen Ebene auf eine definierte (aber unbekannte) Geschwindigkeit gebracht und kommt (insbesondere) durch seine Rollreibung nach wenigen Metern zum Stehen. Mehrere Schüler bestimmen mit Stoppuhren die Zeit vom Aufsetzen auf den Boden bis zum Erreichen bestimmter Markierungen. Aufgrund der vielen Ungenauigkeitsquellen wird jede Messung mehrfach und mit wechselnden Personen durchgeführt.

Der verwendete Wagen weist eine relativ große, konstante Rollreibung auf, so dass er nach dem Herabrollen der Schiene nach wenigen Metern zum Stehen kommt. Die Schiene wird so positioniert, dass der Wagen vollständig ungestört ausrollen kann. Die Rollstrecke wird mit 10 etwa äquidistanten Kreidemarkierungen versehen, deren Abstand vom Ende der Schiene gemessen und festgehalten wird (siehe Abbildung 109). Ein Schüler startet den Wagen, die anderen Gruppenmitglieder verteilen sich auf die Kreidemarkierungen und erhalten je eine Stoppuhr.



Abbildung 113: Aufbau Lernstation 3. Mit Kreidemarkierungen entlang der Rollstrecke des Wagens werden die Punkte für die Zeitmessung markiert. Die zurückgelegte Wegstrecke wird gemessen vom Auflagepunkt der Schiene bis zur jeweiligen Markierung.

Versuchsdurchführung

Der Schüler, welcher den Wagen bedient, bringt diesen in seine Startposition am oberen Anschlag der schiefen Ebene. Nach vorheriger Ankündigung wird der Wagen losgelassen. Jeder Schüler, der sich mit Stoppuhr an einem Kreidestrich postiert hat, startet die Zeitmessung, sobald der Wagen den Boden berührt, und beendet sie, wenn der Wagen die eigene Markierung passiert. Die gemessenen Zeitwerte werden zu der entsprechenden Wegstrecke notiert.

Aufgrund der vielfältigen Ungenauigkeiten dieses bewusst sehr einfach gehaltenen Versuchs ist es sinnvoll, möglichst viele Messvorgänge durchzuführen und dabei immer wieder die Positionen der Schüler zu tauschen, um individuelle Unterschiede bei der Durchführung möglichst statistisch zu verteilen. Am Ende sollten mindestens drei Messwerte für jede Markierung vorhanden sein. Auf diese Weise lassen sich (nach Erfahrung des Autors) erstaunlich brauchbare Ergebnisse erzielen.

Versuchsauswertung

Die gemessenen Werte für die Laufzeit werden für jede Markierung gemittelt. Die Wegstrecken, welche den Markierungen zugeordnet sind, werden dann gegen die gemittelten Laufzeiten in einem $s(t)$ -Diagramm aufgetragen. Die Kurvenform entspricht dem linken Arm einer nach unten geöffneten Parabel.

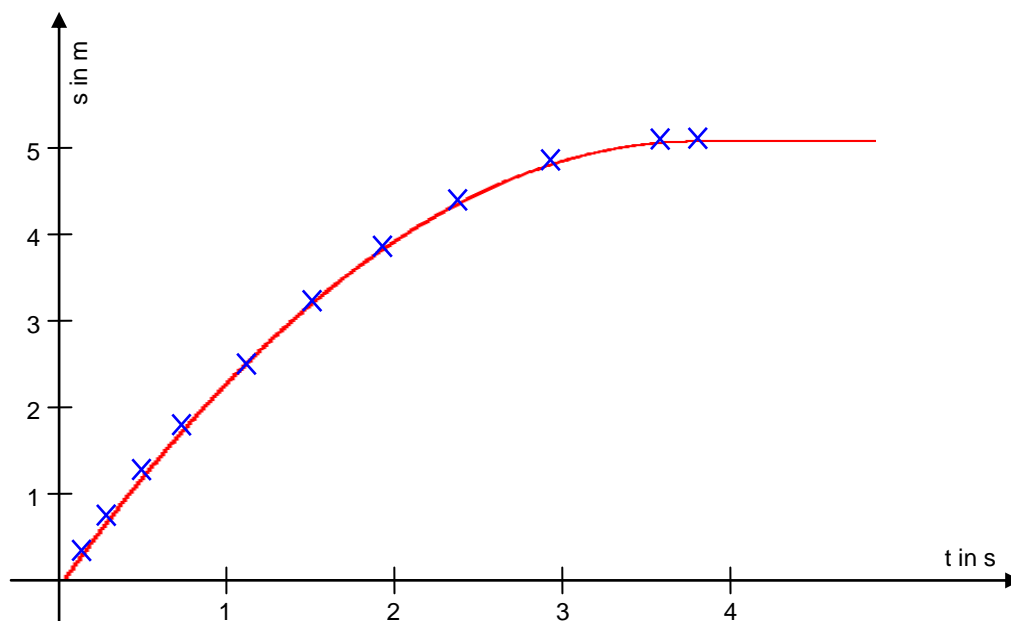


Abbildung 114: Auswertung Lernstation 4. Da es sich um eine gleichmäßig verzögerte Bewegung handelt, entspricht die Form des Graphen eines $s(t)$ -Diagramms der linken Hälfte einer nach unten geöffneten Parabel. Wäre nicht Reibung, sondern etwa ein Motor die Ursache der negativen Beschleunigung, wäre auch die rechte Hälfte der Parabel vorhanden.

ce) Haften und Gleiten

Versuchsaufbau

Den Schülern stehen folgende Materialien zur Verfügung:

- Holzquader verschiedener Größe, deren Oberflächen mit unterschiedlichen Materialien beklebt sind. Jeder Quader weist an einer Fläche seine Öse auf, in welche sich der Haken eines Kraftmessers einhaken lässt,
- einige Federkraftmesser für verschiedene Kraftbereiche, die jeweils an einem Ende mit einem Haken versehen sind,
- eine Auswahl von Massestücken, mit denen sich die Holzquader zusätzlich beschweren lassen, und
- mehrere Streifen unterschiedlich groben Schleifpapiers.



Abbildung 115: Material Lernstation 5. Zur Verfügung stehen Holzquader mit unterschiedlich beschichteten Flächen und eine Öse zum Einhängen von Kraftmessern, Massestücke zur Beschwerung und unterschiedlich feines Sandpapier, über das die Klötze (nach Überschreiten der Haftgrenze) mit den Kraftmessern gezogen werden können. In einer relativ offenen Aufgabenstellung sollen die Schüler durch geeignete Messreihen untersuchen, ob sie Zusammenhänge zwischen maximaler Haftkraft, Gleitreibungskraft, Masse, Oberflächenmaterialien, Auflagefläche oder Zuggeschwindigkeit entdecken können.

Versuchsdurchführung

Der Arbeitsauftrag wurde bewusst sehr offen gestaltet, da dieser Versuch sich nicht mit dem eigentlichen physikalischen Inhalt der Unterrichtssequenz beschäftigt, sondern ein Randthema anschnidet, welches sich aus dem lebensweltlichen Kontext ergibt. Daher sollen an dieser Stelle keine quantitativen Ergebnisse im Sinne des Lehrplans erzielt werden, sondern nur qualitative Zusammenhänge als Grundlage eines besseren Verständnisses des Kontextproblems.

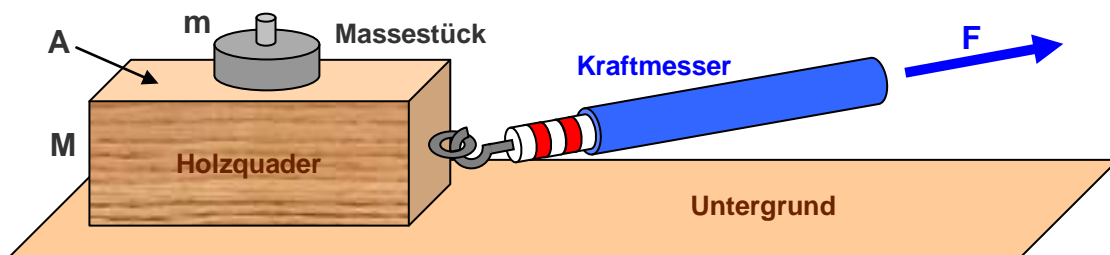


Abbildung 116: Durchführung Lernstation 5. Ein Holzquader wird auf den ausgewählten Untergrund gesetzt, mit einem Massestück beschwert und der Kraftmesser in die Öse eingehakt. Durch vorsichtiges Ziehen am Kraftmesser können dann Haftgrenze und Gleitreibungskraft bestimmt werden.

Die Schüler sollen in diesem Versuch die Phänomene „Haftreibung“⁴⁵ und Gleitreibung untersuchen. Dazu wird einer der Quader mit einer beliebigen Fläche auf einen beliebigen Untergrund (etwa einen der Schleifpapierstreifen) gesetzt, der Kraftmesser in die Öse eingehakt und dann vorsichtig an dem Kraftmesser gezogen (siehe Abbildung 116).

Die gesuchten Werte werden auf folgende Weise ermittelt:

- Die Kraft auf den ruhenden Quader kann langsam bis zu einem bestimmten Wert, der Haftgrenze F_{Haft} , gesteigert werden, dann geht der Körper in den Gleitzustand über. Der kurz vor der Überschreitung von Kraftmesser angezeigte Wert wird festgehalten, der Vorgang mehrfach wiederholt und dann F_{Haft} gemittelt.
- Nach dem Einsetzen des Gleitzustandes wird der Körper mit möglichst gleichmäßiger Geschwindigkeit über den Untergrund gezogen und dabei die Kraft F_{Gleit} abgelesen. Der Versuch wird mit verschiedenen Geschwindigkeiten wiederholt und die Änderung der angezeigten Kraft notiert.

Die beiden beschriebenen Messungen werden von den Schülern für möglichst viele Kombinationen von Materialien, Flächen und Massen durchgeführt werden.

Versuchsauswertung

Aufgrund der durchgeführten Messungen sollen die Schüler Hypothesen aufstellen, welche Faktoren Haftgrenze und Gleitreibung beeinflussen und welche nicht. Liegt eine Beeinflussung vor, soll die Art des Zusammenhangs vermutet werden. Ein mögliches, sinnvolles Ergebnis ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Bedingung	Haftgrenze	Gleitreibungskraft
Auflagefläche	unabhängig	unabhängig
Masse / Normalkraft	proportional	proportional
Material Körper / Untergrund	abhängig	abhängig
Geschwindigkeit	-	unabhängig

Tabelle 11: Auswertung Lernstation 5. Anhand selbst konzipierter Messreihen sollen die Schüler herausfinden, von welchen Bedingungen Haftgrenze und Gleitreibungskraft abhängig sind.

⁴⁵ Reibung im engeren Sinne ist immer mit einer (meist thermischen) Energieentwertung verbunden. Insofern ist der Begriff der Haftreibung irreführend, da hier durch einen Formschluss eine Impulsübertragung, aber gerade keine Energieentwertung stattfindet. In dieser Unterrichtsreihe wird dieser Begriff daher vermieden und stattdessen von Haftzustand und Haftgrenze gesprochen.

3.3.2.4 Modul E02

<i>Thema des Unterrichtsmoduls:</i>	Begriffe Geschwindigkeit und Beschleunigung sowie deren Zeitabhängigkeit bei speziellen Translationen.
<i>Position innerhalb der Unterrichtsreihe:</i>	Auswertung der Schülerversuche, Erarbeitung der Begriffe und Hypothesen für die weitere Arbeit.
<i>Unterrichtsphase:</i>	Auswertung und Hypothesenbildung.
<i>Vorausgesetzte Module:</i>	E01, (L02)
<i>Empfohlener Lernort:</i>	Unterrichtsraum mit Tafel und Projektionsmöglichkeit.
<i>Verwendete Methoden:</i>	Gruppenpräsentationen, Unterrichtsgespräch.
<i>Eingesetzte Medien:</i>	Tafel, Kreide; OH-Projektor oder Auflicht-Projektor.
<i>Benötigte Unterrichtszeit:</i>	2 bis 3 Unterrichtsstunden.

In Modul E02 geht es darum, aus den in Modul E01 durchgeführten Schülerversuchen die Begriffe Geschwindigkeit und Beschleunigung sowie einige hypothetische Formeln zur Beschreibung der behandelten Bewegungsarten zu erarbeiten.

a) Sachaspekte***Theoretische Herleitung***

Im Folgenden wird kurz dargestellt, wie sich die Beobachtungen aus den Schülerversuchen theoretisch herleiten lassen. Diese Herleitung wird *nicht* innerhalb des aktuellen Unterrichtsmoduls mit den Schülern durchgeführt, da aufgrund des Lehrplans noch keine Kenntnisse aus der Analysis vorausgesetzt werden können; sie dient lediglich zur Klarstellung der theoretischen Grundlagen.

- Geschwindigkeit v und Beschleunigung a sind definiert als zeitliche Ableitungen:

$$v = \dot{s} = \frac{ds}{dt} \quad \text{und} \quad a = \dot{v} = \frac{dv}{dt}$$

- Für die gleichförmige Bewegung ist die Geschwindigkeit v zeitlich konstant, also:

$$v(t) = \text{const} \Rightarrow s(t) = \int_0^t v(t') \cdot dt' = v \cdot t + s_0 \quad (\text{Station 01})$$

- Für die gleichmäßig beschleunigte oder verzögerte Bewegung ist die Beschleunigung a zeitlich konstant - bei ersterer mit $a > 0$, bei letzter mit $a < 0$:

$$a(t) = \text{const} \Rightarrow v(t) = \int_0^t a(t') \cdot dt' = a \cdot t' + v_0 \Rightarrow \quad (\text{Station 03})$$

$$s(t) = \int_0^t v(t') \cdot dt' + s_0 = \int_0^t (a \cdot t' + v_0) \cdot dt' + s_0 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0 \quad (\text{Station 02 / 04})$$

Aus $s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$ und $v(t) = a \cdot t' + v_0$ ergibt sich außerdem:

$$v(s) = \sqrt{2 \cdot a \cdot (s - s_0) - v_0^2} \quad (\text{Station 03})$$

Schrittweise Versuchsauswertung ohne theoretischen Hintergrund

Ohne theoretische Vorkenntnisse und ohne die mathematischen Werkzeuge der Analyse können anhand der Auswertungsergebnisse der Schülerexperimente aus Modul E01 die nachfolgenden Überlegungen angestellt werden. Im Vordergrund steht dabei die Erarbeitung der neuen Begriffe und Zusammenhänge, einige Feinheiten werden bewusst vorerst nicht thematisiert.

- Bei der *gleichförmigen Bewegung* ist die zurückgelegte Wegstrecke s proportional zur vergangenen Zeit t (siehe Abbildung 105). Der Proportionalitätsfaktor entspricht der *Geschwindigkeit* v , welche festgelegt ist als Quotient aus einem beliebigen Wegstück Δs und dem zugehörigen Zeitintervall Δt . Die Geschwindigkeit ist bei einer gleichförmigen Bewegung für jedes beliebige Zeitintervall gleich. Also gilt:

$$\Rightarrow \text{Definition der Geschwindigkeit:} \quad v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$\Rightarrow \text{Hypothese für gleichförmige Bewegung:} \quad s(t) = v \cdot t \quad \text{mit} \quad v = \text{const}$$

- Bei der *gleichmäßig beschleunigten Bewegung* lässt sich die Geschwindigkeit nach der gleichen Definition bestimmen, allerdings erhält man unterschiedliche Werte für verschiedene Zeitintervalle Δt . Die Geschwindigkeit ist also offenbar nicht konstant, sondern ändert sich mit der Zeit. Um möglichst genaue Werte für die *Momentangeschwindigkeit* zu einem bestimmten Zeitpunkt t zu erhalten, wählt man das Zeitintervall Δt so klein, dass für diesen Ausschnitt näherungsweise eine gleichförmige Bewegung vorliegt, wie es in Station 03 durch die Verwendung eines schmalen Reiters zur Unterbrechung der Lichtschranke realisiert wurde.
- Wird diese Momentangeschwindigkeit v gegen die vergangene Zeit t aufgetragen, so erhält man bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung einen linearen Zusammenhang, v ist also proportional zu t (siehe Abbildung 110). Der Proportionalitätsfaktor entspricht der *Beschleunigung* a , welche festgelegt ist als Quotient aus einer beliebigen Geschwindigkeitsdifferenz Δv und dem zugehörigen Zeitintervall Δt . Die Beschleunigung a ist bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung für jedes beliebige Zeitintervall gleich. Es gilt also:

$$\Rightarrow \text{Definition der Beschleunigung:} \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\Rightarrow \text{Hypothese 1 für gleichmäßig beschleunigte Bewegung:} \quad v(t) = a \cdot t \quad \text{mit} \quad a = \text{const}$$

- Wird bei der gleichmäßig beschleunigten Bewegung die zurückgelegte Strecke s gegen die Zeit t aufgetragen, ergibt sich ein Graph, der an die rechte Hälfte einer nach

oben geöffneten Parabel erinnert (siehe Abbildung 111). Es ist also zu vermuten, dass zwischen s und t ein quadratischer Zusammenhang besteht. Der Streckungsfaktor der Parabel könnte mit der Beschleunigung zusammenhängen; anhand der Zahlenwerte der Messreihen lässt der Faktor $\frac{1}{2}$ abschätzen::

⇒ Hypothese 2 für gleichmäßig beschleunigte Bewegung: $s(t) = k \cdot t^2$ mit $k = \frac{1}{2} \cdot a$

- Wird ein $s(t)$ -Diagramm für die gleichmäßig verzögerte Bewegung aufgestellt, erhält man wiederum einen Teil einer Parabel, diesmal allerdings die linke Hälfte einer nach unten geöffneten. Ein solcher Graph lässt sich ebenfalls mit einer quadratischen Funktion darstellen, wobei diesmal die Konstante negativ gewählt werden muss. Wird an der Vermutung festgehalten, dass die Konstante etwas mit der Beschleunigung zu tun hat, so liegt die Vermutung nahe, dass eine verzögerte Bewegung nichts anderes ist als eine negativ beschleunigte Bewegung und einer zusätzlichen Startgeschwindigkeit v_0 . Das heißt:

⇒ Hypothese 3 für gleichmäßig verzögerte Bewegung: $s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t$ mit $a < 0$

- Das $v(s)$ -Diagramm der gleichmäßig beschleunigten Bewegung schließlich lässt sich durch eine Wurzelfunktion darstellen, was durch reine Betrachtung des Graphen nur schwer zu erkennen ist. Aufgrund der bisherigen Hypothesen ist aber eine mathematische Herleitung möglich, sodass sich ergibt:

⇒ Hypothese 4 für gleichmäßig beschleunigte Bewegung: $v(s) = \sqrt{2 \cdot a \cdot s}$

- Lernstation 5 hat sich mit Haftgrenze und Gleitreibung beschäftigt. Aus den halbquantitativen Beobachtungen lässt sich erkennen, dass sowohl F_{Haft} als auch F_{Gleit} einerseits vom verwendeten Material, andererseits von der Masse abhängig sind, nicht jedoch von Auflagefläche oder Geschwindigkeit. Fasst man die Oberflächeneigenschaften in einer Konstanten zusammen, lässt sich das hypothetisch so formulieren:

⇒ Hypothese 5 für Haftgrenze: $F_{\text{Haft}} = k_{\text{Haft}} \cdot m$ und für Gleitreibung: $F_{\text{Gleit}} = k_{\text{Gleit}} \cdot m$

b) Lernziele

- Die Schüler sollen eine Reihe physikalischer Begriffe und Zusammenhänge, die bisher teilweise als vages Alltagswissen, teilweise überhaupt nicht bekannt waren, genauer verstehen, sowie sprachlich und mathematisch präzise formulieren:
 - Dazu gehören die Begriffe Geschwindigkeit und Beschleunigung,
 - die Unterscheidung zwischen gleichförmiger, gleichmäßig beschleunigter und gleichmäßig verzögerter Bewegung,
 - für jede Bewegungsart die Abhängigkeit von Ort und Geschwindigkeit von der vergangenen Zeit,
 - sowie die Begriffe Haftgrenze und Gleitreibung.
- Die Schüler sollen den Prozess der induktiven Gewinnung hypothetischer Erkenntnisse aus zuvor präzise und systematisch vorgenommenen Beobachtungen gedanklich aktiv mitgestalten und als wichtiges methodisches Werkzeug erkennen.
 - Sie sollen unbedingt nachvollziehen können, in welchem Zusammenhang die Einzelnen Erkenntnisse mit den einzelnen Beobachtungen stehen,
 - sollen definitorische Festlegungen als solche begreifen,
 - und sollen vor allem verstehen, dass alle als Hypothesen formulierten Zusammenhänge tatsächlich zunächst nichts als begründete Vermutungen anhand von speziellen Einzelbeobachtungen sind, die noch theoretisch untermauert werden müssen, auch dadurch allerdings nicht bewiesen werden können.
- Die Auswertung und Interpretation der Versuchsergebnisse macht eine parallele Verwendung von Messwerten, Diagrammen, mathematischen Formeln und sprachlichen Formulierungen erforderlich.
 - Hierdurch soll einerseits die Fähigkeit zum Transfer zwischen unterschiedlichen Codierungen physikalischer Sachverhalte verbessert,
 - andererseits der Umgang mit elementaren Handwerkszeugen des Physik erlernt und trainiert werden.

c) **Unterrichtsverlauf**

- In Modul E01 wurden 5 Schülerversuche in Gruppenarbeit aufgebaut, durchgeführt und graphisch ausgewertet. Jede Gruppe sucht sich nun einen Versuch aus, den sie für die anderen noch einmal gründlich aufbereitet. Dazu gehört

1. eine ordentliche Skizze des Versuchsaufbaus,
2. eine präzise Beschreibung der Versuchsdurchführung, was auch die Herausarbeitung der Fragestellung und die korrekte Benennung der Messgrößen und Parameter einschließt, und
3. eine sorgfältige Aufbereitung der gezeichneten Diagramme oder sonstigen Auswertungen.

Steht kein Auflichtprojektor oder Videobeamer mit Kamera, sondern nur ein OH-Projektor zur Verfügung, sollten die Gruppen ihre Skizzen und Diagramme direkt auf entsprechende OH-Folien anfertigen, die der Lehrer zur Verfügung stellt. Sprachliche Ausführungen sollten stichwortartig vorbereitet werden. Die interne Arbeitsteilung innerhalb der Gruppen sollte nach Möglichkeit vom Lehrer nicht beeinflusst, wohl aber genau beobachtet werden, da sich hier Interessen- und Begabungsschwerpunkte sowie soziale Kompetenzen andeuten können, deren Kenntnis für den Lehrer durchaus hilfreich sein kann.

- Die Stationen werden nun nacheinander in der Reihenfolge ihrer Nummern thematisiert. Dabei sollen die bearbeiteten Teilaufgaben jeweils von verschiedenen Schülern der jeweiligen Gruppe vorgestellt werden. Für die Aufgaben 1 und 3 sind die erstellten Zeichnungen oder Diagramme auf geeignete Weise zu projizieren und in den Vortrag einzubeziehen. Die restlichen Schüler vergleichen die vorgestellten Ergebnisse mit ihren eigenen Aufzeichnungen. Unterschiede und Unklarheiten werden nach jedem Vortrag im Plenum vorgebracht und diskutiert.
- Die von den Gruppen vorgestellten Zeichnungen und Diagramme werden vor der Stunde vom Lehrer fotokopiert und zum Stundenbeginn an alle verteilt, damit jeder die gleichen Voraussetzungen hat. Anhand der Auswertungsergebnisse aus den Schülerversuchen werden nun schrittweise die im

Gruppenarbeit

Versuchsanleitungen, Aufzeichnungen und Auswertungen der Schüler, eventuell OH-Folie und OH-Stifte

(20 - 45 min)

Präsentation der Gruppenergebnisse

Produkte aus Gruppenarbeit, OH- oder Auflichtprojektor; Tafel, Kreide

(25 - 45 min)

fragend entwickelndes Unterrichtsgespräch

Produkte aus Gruppenarbeit, OH- oder Auflichtprojektor;

zweiten Teil der Sachanalyse vorgestellten Inhalte erarbeitet. Die Überlegungen werden gemeinsam im Plenum angestellt; der Lehrer versucht die Erkenntnisprozesse so sparsam wie möglich zu unterstützen.

- Der höchste Stellenwert kommt dabei dem Verständnis der Begriffe Geschwindigkeit und Beschleunigung sowie deren mathematischer Formulierung zu.
- Außerdem sollen die Charakteristika der zwei / drei Bewegungsarten herausgearbeitet werden,
- und es sollen die 5 in der Sachanalyse aufgestellten Hypothesen von den Schülern aufgestellt werden. Hierbei ist es wichtiger, dass die Schüler selbständig anhand der real vorliegenden Messergebnisse Vermutungen anstellen, als dass die Vermutungen direkt „richtig“ sind. Auch mit falschen (aber sinnvollen) oder mehreren konkurrierenden Hypothesen zu einem Sachverhalt kann problemlos weitergearbeitet werden.
- Hinsichtlich des Reibungsversuchs ist entscheidend, dass die Begriffe Haftgrenze und Gleitreibung sowie die Abhängigkeit beider Kräfte von den Oberflächeneigenschaften beider Körper klar werden.

Der Lehrer notiert alle wichtigen Überlegungen an der Tafel, die Schüler schreiben diese mit.

- Am Ende gibt der Lehrer noch einen kurzen Überblick über den Fortgang der Problemlösung: Nachdem die zur Lösung relevanten Größen und Zusammenhänge experimentell untersucht wurden, sollen die gewonnenen Erkenntnisse nun zur Modellierung mit dem Computer genutzt werden.

Tafel, Kreide

(42 min)

Information

(3 min)

3.3.2.5 Modul M01 (M wie Modellbildung)

<i>Thema des Unterrichtsmoduls:</i>	Begriffe Modell und System, Elemente dynamischer Systeme, Konzept der numerischen Iteration.
<i>Position innerhalb der Unterrichtsreihe:</i>	Einführung in die graphische Modellbildung sowie die Grundlagen der Systemdynamik.
<i>Unterrichtsphase:</i>	Exkurs zur Einführung in die Modellbildung
<i>Vorausgesetzte Module:</i>	Keine erforderlich.
<i>Empfohlener Lernort:</i>	Unterrichtsraum mit Tafel.
<i>Verwendete Methoden:</i>	Unterrichtsgespräche
<i>Eingesetzte Medien:</i>	Tafel, Kreide; Jo-Jo; Hand-out über Flussdiagramme
<i>Benötigte Unterrichtszeit:</i>	1 bis 2 Unterrichtsstunden.

Thema dieses Moduls ist der Begriff des Modells in Alltagssprache und Naturwissenschaften, sowie die Grundlagen der Systemdynamik und der numerischen Iteration.

a) **Sachaspekte**

- Der Modellbegriff hat in der Alltagssprache vielschichtige Bedeutungen:
 - Es kann sich beispielsweise um eine Vorlage für ein Kunstwerk handeln,
 - um einen verkleinerten und vereinfachten Nachbau eines Originals,
 - um eine plastische Veranschaulichung eines geplanten Bauwerks oder
 - um eine Modellreihe eines bestimmten Fahrzeugs.
- In der Physik ist der Modellbegriff hingegen klar zu bestimmen (Abschnitt 2.1.2.1b):
 - Ein Modell ist eine vereinfachende, strukturbildende Wiedergabe eines Ausschnittes der Wirklichkeit. Dieser Ausschnitt wird auch System genannt, die Systemgrenzen legen fest, was dazu gehört und was nicht.
 - Modelle können unter anderem sprachlich, als mathematische Formel, als Diagramm oder mit graphischen Symbolen formuliert werden.
 - Werden Modelle auf der Basis von Beobachtungen in einem realen System erstellt, so spricht man von Induktion. Es handelt sich dabei um einen kreativen Akt, gegebene Beobachtungen führen nicht zwingend zu einem bestimmten Modell.
 - Aus einem Modell können Vorhersagen über zukünftige Beobachtungen abgeleitet werden, was man als Deduktion bezeichnet.
 - Stimmt eine Vorhersage nicht mit der tatsächlichen Beobachtung überein, ist das Modell damit falsifiziert. Andererseits können auch beliebig viele zutreffende Vorhersagen das Modell nicht eindeutig beweisen. Modelle bleiben also immer hypothetisch und somit vorläufig.

- Modelle enthalten gegenüber einem realen System immer Vereinfachungen und Verallgemeinerungen.
- Physikalische Modelle machen in der Regel (unter anderem) Aussagen über physikalische Größen und deren Zusammenhänge.
- In der wissenschaftlichen Forschung werden Modelle oft über lange Zeiträume stetig verbessert, indem immer wieder Vorhersagen abgeleitet, Überprüfungsexperimente durchgeführt und anhand der Ergebnisse Modelloptimierungen vorgenommen werden.
- Auch komplizierte physikalische Systeme lassen sich mit dem Computer relativ einfach berechnen, indem das Verfahren der numerische Iteration angewandt wird (vergleiche auch Abschnitt 2.1.2.3e):
 - Dazu wird die Zeit zunächst in kleine Intervalle dt eingeteilt.
 - Von einem Zeitpunkt t ausgehend, an dem die Werte aller beteiligten Größen bekannt sind, wird berechnet, wie sich die einzelnen Größen im Zeitintervall dt ändern, woraus sich die neuen Werte der Größen zum Zeitpunkt $t+dt$ ergeben.
 - Aus dem neuen Systemzustand wird dann wieder der nächste berechnet, aus diesem wieder der nächste, und so fort. Auf diese Weise kann man ermitteln, wie sich die Größen eines dynamischen Systems mit der Zeit ändern.
 - Die Intervalle dt sollen dabei so klein sein, dass alle Änderungen in dieser Zeitspanne in guter Näherung linear sind.
 - Aufgrund des sich daraus ergebenden Rechenaufwandes lassen sich solche Verfahren sinnvoll nur mit einem Computer anwenden.
- Es gibt eine graphische Symbolsprache, mit welcher physikalische Modelle anschaulich mit ihren Größen und Wechselwirkungen dargestellt und außerdem für numerisch iterative Simulationen mit dem Computer nutzbar gemacht werden können. Es handelt sich um die systemdynamischen Flussdiagramme (Abschnitt 2.1.2.3d), hier verwendet in einer überarbeiteten Form (Abschnitt 2.3.1.4). Es wird unterschieden zwischen folgenden Systemelementen:
 - *Parameter* (im Sinne Forresters) sind entweder zeitlich konstant, oder sie ändern sich aufgrund von Einflüssen außerhalb des Systems.
 - *Zustandsgrößen* ändern sich mit der Zeit, wobei sich ein Wert immer nur aus dem vorhergehenden Wert und der zwischenzeitlichen Änderung bestimmen lässt.
 - *Änderungsraten* beziehen sich jeweils auf eine Zustandsgröße und geben an, um welchen Wert sich diese in einem bestimmten Zeitintervall dt ändert
 - *Zwischengrößen* können sich ebenfalls mit der Zeit ändern, lassen sich aber ohne Kenntnis des vorausgegangenen Systemzustandes aus den aktuellen Werten der Parameter und Zustandsgrößen ermitteln. Hierzu können entweder Formeln oder Tabellen (etwa mit Messwerten) verwendet werden.

- *Verzweigungsgrößen* nehmen einen Wert an in Abhängigkeit vom Ergebnis eines Vergleichs zweier Größen.
- *Zuordnungen* zeigen in Form von Pfeilen an, welche Systemelemente miteinander in Wechselwirkung stehen.

b) Lernziele

- Die Schüler sollen den wissenschaftstheoretischen Modellbegriff, wie er in der Physik verwendet wird, verstehen und artikulieren können. Insbesondere sollen sie
 - zwischen Induktion und Deduktion unterscheiden können und die als elementare Schritte naturwissenschaftlicher Forschung erfassen,
 - den hypothetischen Charakter aller naturwissenschaftlichen Erkenntnis im Sinne des POPPER'schen „Falsifikationismus“ begreifen, und
 - verstehen, durch welche Wesensmerkmale physikalische Modelle charakterisiert sind.
- Die Schüler sollen das Prinzip der numerischen Iteration (eventuell ohne Verwendung der Bezeichnung) in seinen Grundzügen verstehen. Insbesondere sollen sie
 - die Unterschiede zwischen analytischen und numerischen Verfahren (wiederum ohne Verwendung dieser Begriffe) benennen können,
 - verstehen, dass und warum numerische Verfahren vor allem zur Berechnung mit dem Computer nützlich sind, und
 - erkennen, dass auch die Software, welche in den nächsten Unterrichtsstunden genutzt werden soll, auf einem solchen Verfahren beruht.
- Schließlich sollen sich die Schüler (weniger vertieft) mit den Prinzipien der systemdynamischen Flussdiagramme und mit der Bedienung des Modelleditors der Software „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5 vertraut machen.
 - Hierzu gehört natürlich der Begriff des Systems (in groben Grundzügen), und
 - die Unterscheidung der einzelnen Systemelemente und ihrer Funktionen.

c) Unterrichtsverlauf

Das Modul M01 stellt einen Exkurs dar, in welchem die Schüler einige theoretische und methodische Grundlagen für die nachfolgenden Unterrichtsmodule erlernen, bei welchen mit dem Modelleditor der Software „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5 gearbeitet wird. Sind die Schüler bereits früher mit Modellbildungssystemen konfrontiert worden und auch mit den methodischen und wissenschaftstheoretischen Implikationen vertraut, kann auf dieses Modul verzichtet und möglicherweise fehlende Einzelinformationen in die nachfolgenden Module eingeflochten werden.

- Zunächst wird zur Einführung in das Thema der Begriff des Modells in seinen alltagssprachlichen Bedeutungsdimensionen thematisiert.
 - Zunächst nennen die Schüler beliebige Beispiele für Modelle, welche vom Lehrer an der Tafel notiert werden, wobei er sie nach Bedeutungsdimensionen gruppiert.
 - Danach werden die Schüler gebeten, für die einzelnen Dimensionen die Bedeutung des Modellbegriffs mit wenigen Worten zu benennen.
- Dann wird der Focus auf den physikalischen Modellbegriff und seine wissenschaftstheoretischen Implikationen gelenkt. Sofern bereits sinnverwandte Beispiele, wie etwa aus dem Chemieunterricht bekannte Atommodelle, genannt wurden, kann diese Bedeutungsdimension besonders hervorgehoben und zum Thema erhoben werden. Ist dies nicht der Fall, muss der Lehrer explizit danach fragen, was wohl in der Physik unter einem Modell verstanden werden könnte. Dann werden in einem fragend entwickelnden Unterrichtsgespräch unter anderem folgende Aspekte herausgearbeitet:
 - Die Unterscheidung zwischen Real- und Modellebene,
 - Induktion als Weg von der Realität zum Modell unter Verallgemeinerung von Beobachtungen,
 - Deduktion als Weg vom Modell zur Realität durch Ableitung von Vorhersagen über künftige Beobachtungen,
 - der hypothetische und vorläufige Charakter aller naturwissenschaftlichen Erkenntnis,
 - die wechselseitige Beförderung immer präziserer experimenteller Verfahren und immer komplexerer Modelle,
 - der Begriff des dynamischen Systems und dessen Grad der Offenheit durch die Wahl der Systemgrenzen,
 - die Aufgabe physikalische Modelle, Größen und deren Zusammenhänge zu erfassen,
 - sowie die verschiedenen prinzipiellen Möglichkeiten der Formulierung von Modellen.

Die einzelnen Erkenntnisschritte werden während des Unterrichtsgesprächs an der Tafel in einer Grafik wie in Abbildung 2 (Abschnitt 2.1.2.1b) visualisiert.

fragend entwickelndes
Unterrichtsgespräch

Tafel, Kreide

(5 - 10 min)

fragend entwickelndes
Unterrichtsgespräch

Tafel, farbige Kreide

(10 - 20 min)

- Als nächstes werden systemdynamische Flussdiagramme und ihre wesentlichen Elemente eingeführt.
 - Zu diesem Zweck geht der Lehrer zunächst noch einmal auf die verschiedenen Möglichkeiten ein, physikalische Modelle zu artikulieren. Im Gespräch wird erarbeitet, dass bisher sprachliche Beschreibungen, graphische Auftragungen in Diagrammen und mathematische Formeln im Unterricht verwendet worden sind. Der Lehrer kündigt daraufhin an, dass er als nächstes ein Verfahren zur Artikulation physikalischer Modelle mittels einer graphischen Symbolsprache vorstellen wird.
 - Der Lehrer verteilt ein Informationsblatt (siehe Anhang 5.2.1.9), in welchem die wichtigsten Elemente der systemdynamischen Flussdiagramme, wie sie vom ramm „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5 verwendet werden, aufgeführt und kurz erklärt sind. Dieses Hand-out soll kurz in Stillarbeit gelesen werden. Einfache Verständnisfragen werden im Anschluss im Plenum geklärt.
- Anhand eines einfachen Beispiels wird die Bedeutung der einzelnen Systemelemente qualitativ verdeutlicht.
 - Zur Veranschaulichung kann der Lehrer ein Realobjekt mitbringen, dessen Bewegung es zu beschreiben gilt, etwa ein Jojo oder ein ferngesteuertes Fahrzeug.
 - Die Schüler werden gebeten, zunächst Messgrößen aufzuzählen, die in Bezug auf das Realobjekt und dessen Bewegung erfasst werden könnten. Die Beiträge werden vom Lehrer an der Tafel notiert, wobei die Schülerformulierungen auch dann übernommen werden, wenn sie fachsprachlich nicht korrekt sind.
 - Im nächsten Schritt sollen die Schüler überlegen, welche der Messgrößen welcher Art von Systemelement entspricht. Dabei sind Konstanten und exogene Größen in der Regel relativ eindeutig zu identifizieren. Bei der Unterscheidung zwischen Zustandsgrößen und Zwischengrößen gibt es häufig mehrere Möglichkeiten, die dann auch als Alternativen durchgespielt werden sollten. Auf diese Weise wird klar, dass es nicht *das* richtige Modell gibt, sondern je nach Problemstellung besser oder schlechter zur Lösung geeignete.

Leseauftrag in Einzelarbeit

*Tafel, Kreide,
Handout über Elemente systemdynamischer Flussdiagramme*

(8 - 16 min)

fragend entwickelndes Unterrichtsgespräch

Tafel, farbige Kreide

(10 - 20 min)

- Die zugeordnete Elementart wird jeweils zunächst neben der entsprechenden Größe notiert. Danach werden in einer neuen Zeichnung die entsprechenden Symbole verwendet, um ein Flussdiagramm daraus zu erstellen. Hierzu werden erst die Größensymbole erstellt und beschriftet, dann gemeinsam die vermutlichen Wechselwirkungen diskutiert und eingezeichnet. Auch hier ist die Richtigkeit des Modells zweitrangig, entscheidend ist der Erkenntnisprozess hinsichtlich der Bedeutung der Systemelemente. Sehr wichtig ist dabei, dass die Bedeutung der Änderungsraten klar wird. Gegebenenfalls können diese durch eine Analogiebetrachtung mit einem Gefäß mit Wasser und einer Zuleitung veranschaulicht werden.
- Die Thematisierung der Änderungsraten bietet sich an, um zum Verfahren der numerischen Iteration überzuleiten.
 - Dabei wird klargestellt, dass die systemdynamischen Flussdiagramme gerade zu dem Zweck eingeführt wurden, dem Computer Modelle mitzuteilen und ihn damit Berechnungen anstellen zu lassen.
 - Es muss klar werden, dass der Computer die Zeit in sehr kleine Intervalle einteilt, innerhalb derer sich alle Änderungen annähernd linear verhalten, und dann immer wieder aus einem Systemzustand jeweils den darauf folgenden berechnet.
 - Die Überlegungen können anhand eines Diagramms wie in Abbildung 4 verdeutlicht werden, in dem eine Größe gegen die Zeit aufgetragen ist und die Linearisierung innerhalb der Intervalle visualisiert wird.
 - Anhand von Beispielen sollen die Vorzüge (Lösung komplexer Probleme ohne großen mathematischen Aufwand) und Nachteile (Ungenauigkeiten durch nicht genügend kleine Schritte und Fehler durch wiederholtes Runden) herausgearbeitet werden.
- Schließlich erfolgt die Vorausschau auf die nächsten Unterrichtsstunden, in denen - unter Verwendung der Kenntnisse aus diesem Modul - die Software „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5 zur graphischen Modellierung und Simulation physikalischer und lebensweltlicher Probleme genutzt wird.

fragend entwickelndes
Unterrichtsgespräch

Tafel, farbige Kreide
(10 - 20 min)

Ausblick
(2 - 4 min)

3.3.2.6 Modul M02

<i>Thema des Unterrichtsmoduls:</i>	Computergestützte Modellierung und Simulation spezieller Translationsbewegungen.
<i>Position innerhalb der Unterrichtsreihe:</i>	Experimentelle Gewinnung der physikalischen Gesetze zur Lösung des Lebensweltproblems.
<i>Unterrichtsphase:</i>	Computergestützte Modellierung.
<i>Vorausgesetzte Module:</i>	(M01), (E02)
<i>Empfohlener Lernort:</i>	Computerraum mit möglichst vielen einzelnen Computerarbeitsplätzen und Projektionsmöglichkeit.
<i>Verwendete Methoden:</i>	Partner- oder Gruppenarbeit (je nach Anzahl der PCs)
<i>Eingesetzte Medien:</i>	Computerarbeitsplätze für Schüler, Notebook, Projektor; Inhaltskomponente „Punktmassen“ aus MV1.
<i>Benötigte Unterrichtszeit:</i>	1 bis 2 Unterrichtsstunden.

In diesem Modul geht es um die graphische Modellierung und numerische Simulation geradliniger Bewegungen mit Hilfe der Software „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5. Die Installation, Konfiguration und Benutzung dieser Software ist in Abschnitt 2.3.1 ausführlich beschrieben. Auch die Grundzüge der Bedienung der Software gehört zu den Sachaspekten dieses Moduls. Verwendet wird die Komponente „Punktmassen“.

a) Sachaspekte

- Eine Möglichkeit, ein funktionsfähiges Modell einer *gleichförmigen Bewegung* zu erstellen, ist in Abbildung 117 dargestellt: Die Position wird durch eine Änderungsrate beeinflusst, welche durch eine konstante Geschwindigkeit bestimmt wird.

Größenart	Name	FZ	Einheit	Größenart	SI	Startwert
Zustandsgröße	Position	s	m	Vektor	1	0 0 0
Parameter	Geschwindigkeit	v	m / s	Vektor	1	5 0 0

Bezugsgröße	Formel
Position	$ds / dt = v$

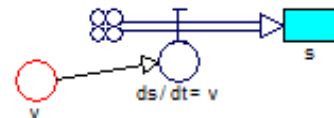


Abbildung 117: Modell einer gleichförmigen Bewegung. Rechts unten ist das Flussdiagramm zu sehen, in der oberen Tabelle sind die Daten der erstellten Größen aufgeführt, wie sie bei der Modellerstellung in MV1 einzugeben sind, die untere Tabelle zeigt die Daten der verwendeten Änderungsrate.

Wird die Simulation gestartet, bewegt sich das Objekt im Simulationsbereich mit konstanter Geschwindigkeit in x-Richtung. Werden im Diagrammbereich Position und Geschwindigkeit (jeweils die x-Komponente) gegen die Zeit aufgetragen, entsteht ein Diagramm wie in Abbildung 118.

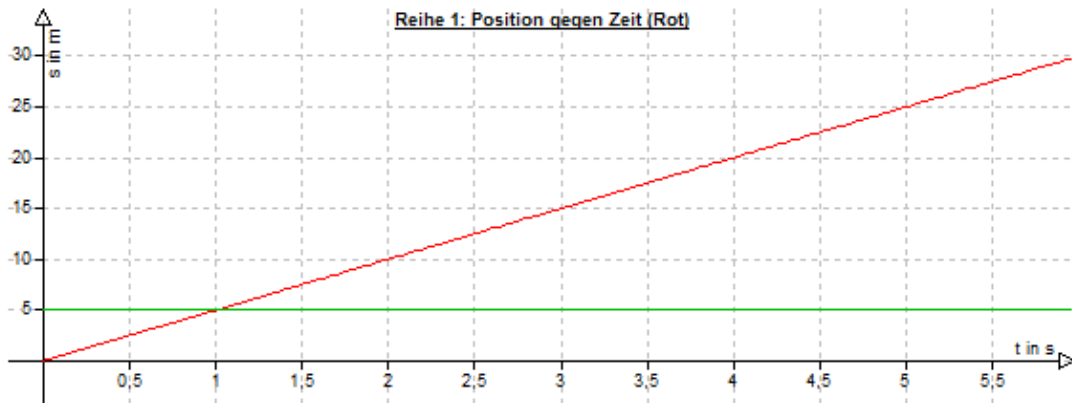


Abbildung 118: Gleichförmige Bewegung im Diagramm in MV1. In Rot ist die x-Komponente der Position, in Grün die x-Komponente der Geschwindigkeit gegen die Zeit aufgetragen.

Wie leicht zu erkennen ist, verhält sich die Position wie erwartet (siehe Versuchsauswertung in Modul E02) linear zur vergangenen Zeit, die Geschwindigkeit bildet als Konstante eine Parallele zur t-Achse.

- Das Modell der gleichförmigen Bewegung kann relativ einfach in ein Modell der *gleichmäßig beschleunigten Bewegung* überführt werden, indem die Geschwindigkeit von einer Konstanten in eine Zustandsgröße umgewandelt und mit einer Änderungsrate versehen sowie eine konstante Beschleunigung hinzugefügt wird, wie es in Abbildung 119 dargestellt ist.

Größenart	Name	FZ	Einheit	Größenart	SI	Startwert
Zustandsgröße	Position	s	m	Vektor	1	0 0 0
Zustandsgröße	Geschwindigkeit	v	m / s	Vektor	1	0 0 0
Parameter	Beschleunigung	a	m / s ²	Vektor	1	3 0 0

Bezugsgröße	Formel
Position	$ds / dt = v$
Geschwindigkeit	$dv / dt = a$

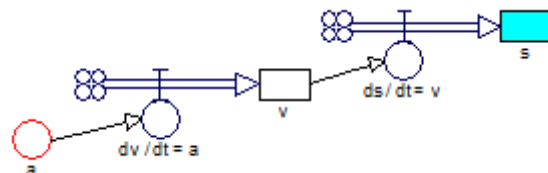


Abbildung 119: Modell einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung. Rechts unten ist wieder das Flussdiagramm zu sehen, in der oberen Tabelle die genauen Daten der erstellten Größen und in der unteren Tabelle die Daten der verwendeten Änderungsraten. Änderungen gegenüber den Tabellen in Abbildung 117 sind blau, neue Systemelemente rot hervorgehoben.

Nach dem Start der Simulation bewegt sich das Objekt im Simulationsbereich mit konstanter Beschleunigung und linear wachsender Geschwindigkeit in x-Richtung.

Werden wieder Position und Geschwindigkeit (jeweils die x-Komponente) gegen die Zeit aufgetragen, entsteht ein Diagramm wie in Abbildung 120.

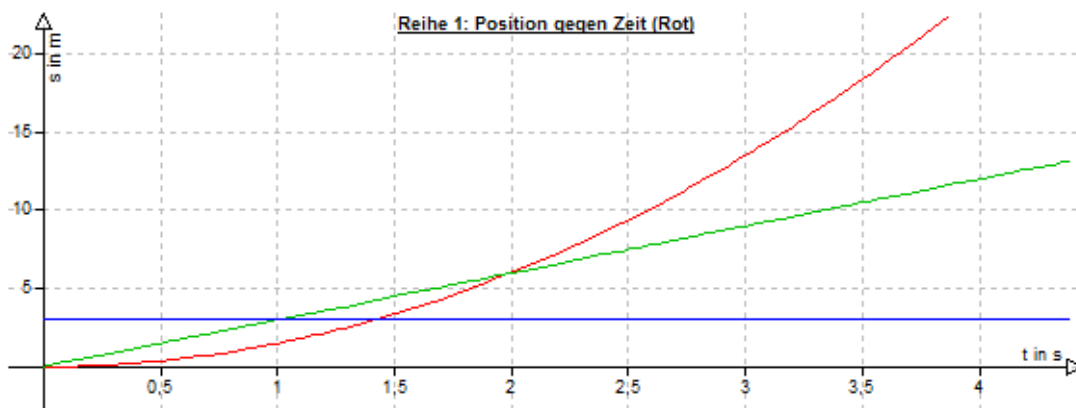


Abbildung 120: Gleichförmige Bewegung (a) im Diagramm in MV1. Dargestellt sind die x-Komponenten der Position (rot), der Geschwindigkeit (grün) und der Beschleunigung (blau), jeweils aufgetragen gegen die Zeit.

Gut zu erkennen sind hier die Konstanz der Beschleunigung und die lineare Zeitabhängigkeit der Geschwindigkeit, was ebenfalls der Erwartung aus Modul E02 entspricht. Dass die Position aufgetragen gegen die Zeit eine Parabel beschreibt ist anhand der roten Graphen durchaus zu vermuten, kann rein visuell kaum sicher entschieden werden - hierauf wird in Modul M03 zurückgekommen.

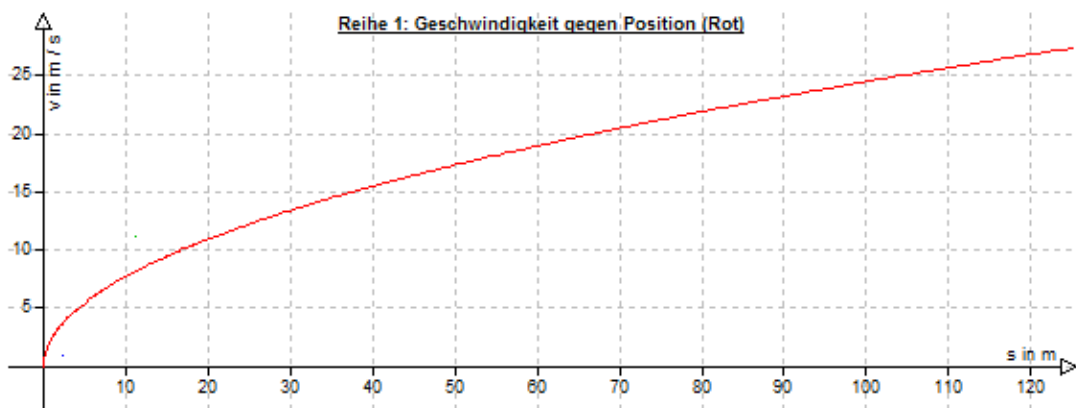


Abbildung 121: Gleichförmige Bewegung (b) im Diagramm in MV1. Aufgetragen ist die x-Komponente der Geschwindigkeit gegen die x-Komponente der Position.

Lässt man - wie in Abbildung 121 zu sehen - im Diagramm die Geschwindigkeit gegen die Position auftragen (wiederum jeweils die x-Komponenten), so ergibt sich wie erwartet ein Graph, der sehr viel Ähnlichkeit mit einer Wurzelfunktion hat. Auch diese Annahme wird in Modul M03 noch einmal aufgegriffen.

- Um aus dem Modell eine *gleichmäßig verzögerte Bewegung* zu erhalten, ist nichts weiter zu tun, als der x-Komponente der Beschleunigung ein negatives Vorzeichen zu geben und für die x-Komponente der Geschwindigkeit einen Wert > 0 zu wählen, wie in der nachfolgenden Tabelle ersichtlich.

Größenart	Name	FZ	Einheit	Größenart	SI	Startwert
Zustandsgröße	Position	s	m	Vektor	1	0 0 0
Zustandsgröße	Geschwindigkeit	v	m / s	Vektor	1	20 0 0
Parameter	Beschleunigung	a	m / s ²	Vektor	1	-3 0 0

Abbildung 122: Modell (a) einer gleichmäßig verzögerten Bewegung. Gegenüber der Tabelle in Abbildung 119 wurde nur der Geschwindigkeit in x-Richtung ein Startwert > 0 gegeben sowie die Beschleunigung mit negativem Vorzeichen versehen.

Nach dem Start der Simulation ist jedoch zu beobachten, dass das Objekt im Simulationsbereich zwar zunächst mit einer Anfangsgeschwindigkeit startet und immer langsamer wird, nach dem Stillstand kehrt es jedoch seine Richtung um und wird in Gegenrichtung immer schneller, wie auch bei der Auftragung der x-Position gegen die Zeit (siehe Abbildung 123) deutlich wird.

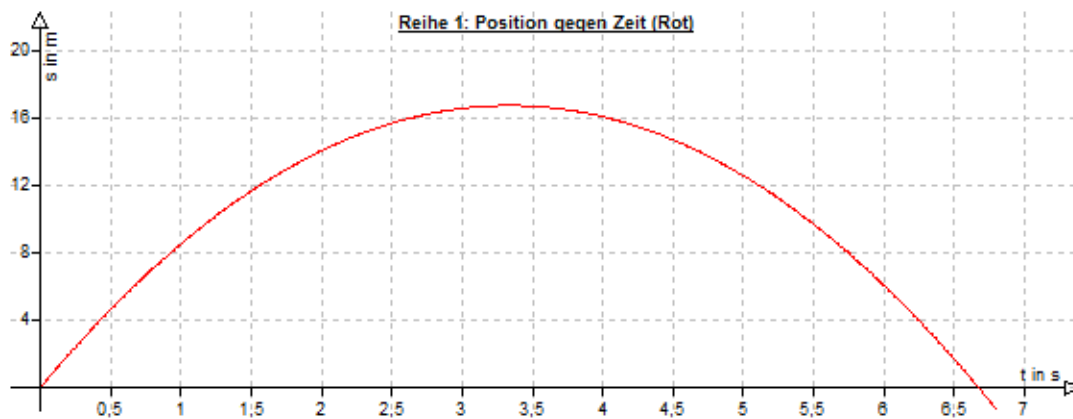


Abbildung 123: Gleichmäßig verzögerte Bewegung im Diagramm (a) in MV1. Da die „negative Beschleunigung“ nach dem Stillstand anhält, kehrt der Körper seine Richtung um und wird in Gegenrichtung wieder schneller, wie an der existierenden rechten Hälfte der Parabel zu erkennen ist.

Da aber eine Bewegung simuliert werden soll, deren Bremsverzögerung durch eine konstante Reibung verursacht wird, welche die kinetische Energie in thermische umsetzt, die nicht zurückgewonnen werden kann, ist die Richtungsumkehr hier physikalisch nicht sinnvoll. Die Beschleunigung darf also nur so lange wirken, bis die Geschwindigkeit ihren Nullpunkt erreicht hat. Dies kann zum Beispiel realisiert werden, indem man die Beschleunigung a in eine Verzweigungsgröße umwandelt, die nur für $v_x > 0$ den Wert a_{haft} und sonst den Wert 0 annimmt (siehe Abbildung 124).

Größenart	Name	FZ	Einheit	Größenart	SI	Startwert
Zustandsgröße	Position	s	m	Vektor	1	0 0 0
Zustandsgröße	Geschwindigkeit	v	m / s	Vektor	1	20 0 0
Verzweigung	Beschleunigung	a	m / s ²	Vektor	1	Wenn v > 0 dann a = a _{haft} sonst a = 0
Parameter	Haftgrenze	a _{haft}	m / s ²	Skalar	1	-3 0 0

Bezugsgröße	Formel
Position	$ds / dt = v$
Geschwindigkeit	$dv / dt = a$

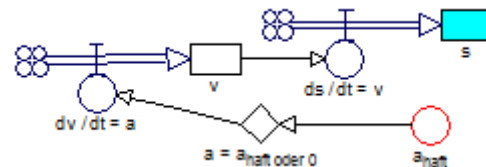


Abbildung 124: Modell (b) einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung. Um eine physikalische nicht sinnvolle Richtungsumkehr zu vermeiden, wird die Beschleunigung nur aufrechterhalten, solange die Geschwindigkeit > 0 ist.

In der Simulation wird das Objekt dann wie erwartet nach dem vollständigen Anhalten nicht wieder beschleunigt, und auch das Diagramm zeigt - wie in Abbildung 125 zu sehen - den erwarteten Kurvenverlauf.

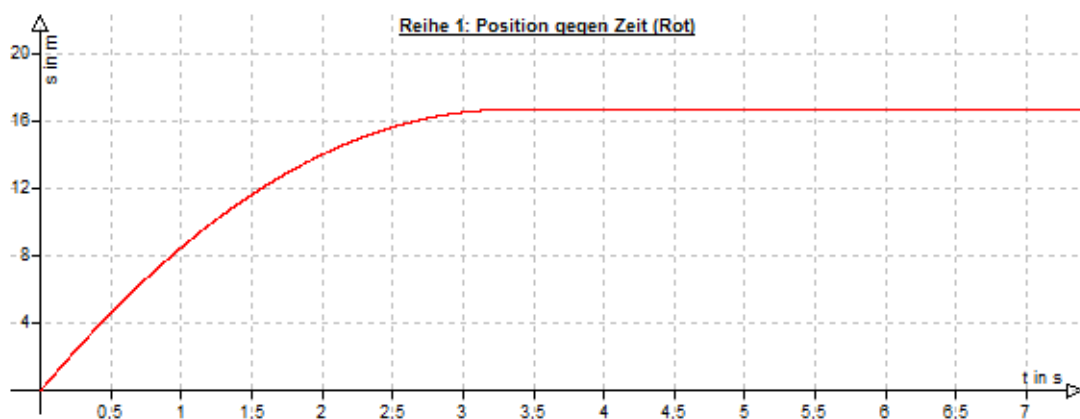


Abbildung 125: Gleichmäßig verzögerte Bewegung im Diagramm (b) in MV1. Setzt die „negative Beschleunigung“ nach Erreichen des Stillstandes aus, findet keine Umkehr statt und statt der rechten Parabelhälfte ist eine Parallele zur t-Achse im Diagramm erkennbar.

b) Lernziele

- Die Schüler sollen gemeinsam Modelle für gleichförmige, gleichmäßig beschleunigte und gleichmäßig verzögerte Bewegungen erstellen. Dabei sollen sie
 - verstehen, dass und wie die Modelle sich ausschließlich aus den Definitionen für Geschwindigkeit und Beschleunigung ergeben,
 - dabei ihr Verständnis dieser zentralen Größen und ihrer Beziehung zueinander sowie zu Ort und Zeit vertiefen,

- die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der verschiedenen Bewegungsarten herausfinden, indem sie Modelle durch Modifikationen oder Festlegung von Werten ineinander überführen, und
- realisieren, dass die graphischen Modelle alternative Artikulationen zu den Diagrammen und hypothetischen Formeln aus der Versuchsauswertung darstellen.
- Durch den Umgang mit systemdynamischen Flussdiagrammen an konkreten, bereits bekannten Beispielen sollen sie
 - den Denkansatz der Systemdynamik, den sie bisher nur als abstrakte Idee kennen gelernt haben, als tragfähiges Problemlösungskonzept realisieren,
 - die Bedeutung von Zustandsgrößen, Änderungsraten, Parametern und Verzweigungen sowie ihr Zusammenspiel in dynamischen Systemen besser verstehen, und
 - möglicherweise kleine Ansätze systemischen Denkens entwickeln.
- Nebenbei sollen die Schüler die Unterscheidung zwischen vektoriellen und skalaren Größen kennen lernen. Konkret sollen sie
 - den Unterschied verstehen und mit ihren Worten erklären können, sowie
 - alle ihnen bekannten physikalischen Größen in vektorielle und skalare Größen einteilen und dies begründen können.
- Die Schüler sollen sich in Grundzügen mit der Bedienung der Komponente Punktemassen der Software „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5 vertraut machen. Dazu gehört
 - die Erstellung eigener Modelle mit dem Modelleditor,
 - die Erstellung und Skalierung von Graphen im Diagrammbereich,
 - die Darstellung von Objekten im Simulationsbereich und
 - das Hinzufügen und Bearbeiten von Objekten mit der Objektleiste.
- Am Ende des Moduls sollen die Schüler in der Lage sein,
 - alle erstellten Modelle eigenständig erneut im Programm zu erstellen,
 - sie zur Ausgabe adäquater Diagramme und Simulationen zu nutzen,
 - diese Ausgaben zu interpretieren und in Beziehung zu ihren Beobachtungen aus den Schülerversuchen zu setzen,
 - die Bedeutung der einzelnen Elemente der Modelle in physikalischer und systemdynamischer Hinsicht zu erklären, sowie
 - zwischen vektoriellen und skalaren Größen unterscheiden zu können.

c) **Unterrichtsverlauf**

Für dieses und die nachfolgenden Module ist ein adäquater Computerraum erforderlich, in dem alle Schüler Platz finden und in kleinen Gruppen von möglichst nicht mehr als zwei Schülern an eigenen Computerarbeitsplätzen arbeiten können. Außerdem sollte die Möglichkeit bestehen, mit dem Videobeamer die Anzeigen beliebiger Computer, mindestens aber des Lehrercomputers, für alle zu projizieren.

Vorbereitend muss der Lehrer oder ein Administrator die Software „Mechanik und Verkehrs 1.0.5“ auf allen Schülercomputern installieren. Außerdem ist sicherzustellen, dass alle Schüler über einen Account zur Anmeldung an den Computern verfügen und diese Accounts geeignet sind, die Software damit zu benutzen und eigene Modelle so zu speichern, dass sie für die folgende Stunde wieder zur Verfügung stehen. Da ausschließlich die Komponente „Punktmassen“ benötigt wird, sollten die Verknüpfungen zu allen anderen Komponenten aus dem Startmenü entfernt werden, um keine unerwünschten Ablenkungen zu provozieren.



Abbildung 126: Modellierung geradliniger Bewegungen. Zu erkennen sind hier insbesondere die unterschiedlichen Gegebenheiten hinsichtlich der technischen Infrastruktur der einzelnen Schulen: Das linke Foto zeigt einen Teil des Computerraums des Karl-Ziegler-Gymnasiums. Hier ist ein recht solides, von einem Lehrer administriertes Netzwerk zu finden; problematisch ist allerdings, dass es sich um einen sehr kleinen Raum ohne Fenster handelt und der Physikkurs aus 30 Schülern besteht, was sich auf Sauerstoffzufuhr und Bewegungsfreiheit negativ auswirkt. Der Computerraum der Gustav-Heinemann-Gesamtschule war völlig unbrauchbar. Daher wurden vorhandene mobile PCs der Lehrer in den Physikraum gerollt, was aber relativ große Gruppen erforderlich machte (mittleres Bild). Das Berufskolleg Saarn (rechtes Bild) besitzt einen relativ guten, geräumigen Computerraum einschließlich Video-Projektor; als Problem hat sich hier ein Programm erwiesen, das Fernzugriffe des Lehrers auf Schüler-PCs ermöglichen soll, aber als 16Bit-Software vorliegt, die Probleme mit langen Dateinamen und anderen 32Bit-Besonderheiten hat.

- Zum Einstieg, noch bevor die Schüler ihre Computer starten, gibt der Lehrer zunächst einige Anweisungen.
 - Zunächst erinnert er an das Ziel des aktuellen Moduls: Es sollen mit der Software MV1 Modelle aller im Unterricht thematisierten Bewegungsarten erstellt und daraus Simulationen und Diagramme erstellt werden.

informierender
Unterrichtseinstieg,
Start von System
und Software
Schülercomputer
(4 - 8 min)

- Dann erklärt er für alle, wie die Computer zu starten, die Zugangsdaten einzugeben und die Komponente aus dem Startmenü aufzurufen sind. Auch etwaige Besonderheiten bei der Speicherung von Daten werden erklärt.
- Erst dann werden die Schüler aufgefordert, mit der zuvor erklärten Prozedur zu beginnen. Bei Problemen sollen die Schüler sich nach Möglichkeit gegenseitig helfen. Während dieser Zeit startet der Lehrer auch seinen eigenen Computer und schaltet den Videobeamer ein.

Ein solches, geordnetes Vorgehen hat sich bei computerzentrierten Unterrichtsstunden bewährt, um die Einstiegsphase, welche sich nur um Fragen zum Umgang mit Hardware und Betriebssystem dreht, möglichst kurz zu halten.

- Es folgt eine Einführung in die Bedienung des Modelleditors und die Erstellung von Modellen.
 - Zunächst erklärt der Lehrer den grundsätzlichen Aufbau in Modelleditor, Simulationsbereich, Diagrammbereich, Objektleiste und Interaktionsbereich sowie die Aufgaben der einzelnen Benutzerleisten.
 - Dann wird der Focus auf den Modelleditor gelenkt. Der Lehrer demonstriert - sichtbar über den Videoprojektor - das Einfügen, Positionieren, Bearbeiten, Umwandeln und Löschen von Systemelementen. Die Schüler reproduzieren die Schritte parallel an ihren Arbeitsplatzrechnern.
 - Die Bedeutungen der Angaben, welche beim Einfügen und Bearbeiten von Elementen vorzunehmen sind (siehe Abschnitt 2.3.1.2a), sollen nach Möglichkeit von den Schülern selbst ermittelt werden. Gelingt es ihnen in Einzelfällen nicht, gibt der Lehrer Hilfestellungen.
 - Um den Unterschied zwischen vektoriellen und skalaren Größen zu klären, bietet sich ein kurzer Exkurs an:
- Die Unterscheidung zwischen Vektoren und Skalaren wird in aller Regel nicht bekannt sein. In der Mittelstufe haben die Schüler sich aber meist intensiv mit Kräften und deren vektorieller Addition auseinandergesetzt, ohne dies explizit so zu benennen. An diese Vorkenntnisse kann der Lehrer mit einer Arbeitsdefinition anknüpfen:
 - ⇒ Wie die Kraft haben alle vektoriellen Größen eine Rich-

Demonstrationen über den Videoprojektor, Reproduktion in Einzel- oder Partnerarbeit

Lehrercomputer, Schülercomputer und Videoprojektor

(5 - 10 min)

fragend entwickelndes Unterrichtsgespräch

Tafel, Kreide

(5 - 10 min)

tung und einen (positiven) Betrag. Sie lassen sich graphisch mit Pfeilen oder zahlenmäßig mit 3 Richtungskomponenten darstellen. Skalare Größen sind durch einen Zahlenwert und ihre Einheit eindeutig bestimmt.

Anhand einer solchen Arbeitsdefinition werden alle bisher im Unterricht thematisierten physikalischen Größen im Unterrichtsgespräch daraufhin untersucht, ob es sich um skalare oder vektorielle Größen handelt. Selbstverständlich sollen die Schüler ihre Entscheidung begründen. Die Ergebnisse werden jeweils an der Tafel festgehalten.

- Dann wird gemeinsam das erste Modell in Angriff genommen. Dazu bietet sich die gleichförmige Bewegung als einfachste Bewegungsart an.
 - Die Definition der Geschwindigkeit in sprachlicher und mathematischer Form wird in Erinnerung gerufen.
 - Anhand dieser Definition wird dann überlegt, welche Größen in das Modell einfließen sollen und welcher Art von Systemelement sie entsprechen.
 - Die erforderlichen Angaben zu den einzelnen Größen werden erarbeitet und in einer Tabelle wie in Abbildung 117 an der Tafel festgehalten.
 - Dann werden die graphischen Symbole der Größen gezeichnet und überlegt, mit welchen weiteren Elementen diese so in Beziehung gesetzt werden können, dass es der Definition entspricht.
- Wenn das Modell vollständig geplant ist, werden die Schüler gebeten, es über den Modelleditor zu erstellen und damit Simulationen durchzuführen
 - Die einzelnen Schritte werden jeweils erst vom Lehrer unter Anleitung der Schüler vorgenommen, dabei für alle projiziert und dann von den Schülern nachvollzogen.
 - Nach der Erstellung des Modells wird zunächst ein Simulationsdurchlauf durchgeführt und die Beobachtung mit der Erwartung verglichen.
 - Um sich mit vektoriellen Größen besser vertraut zu machen, sollen die Schüler verschiedene Werte für die einzelnen Richtungskomponenten der Geschwindigkeit ausprobieren und jeweils die Bewegung beobachten.

fragend entwickelndes
Unterrichtsgespräch

Tafel, Kreide

(5 - 10 min)

gemeinsame Überle-
gungen im Plenum,
Realisierung in Einzel-
oder Partnerarbeit

*Lehrercomputer,
Schülercomputer und
Videoprojektor*

(5 - 10 min)

- Haben alle ein lauffähiges Modell erarbeitet, sollen Diagramme erstellt und mit der Erwartung verglichen werden.
 - Wie zuvor werden die Schritte erst gemeinsam durchgeführt, dann in Einzel- oder Partnerarbeit nachvollzogen. Dabei findet auch eine Einweisung in die Bedienung der Benutzerleiste des Diagrammbereichs statt.
 - Es sollen insbesondere die Diagramme dargestellt werden, welche bereits in Modul E02 gezeichnet wurden. Das Ergebnis ist mit den Erwartungen zu vergleichen.
- Nach diesem ausführlich gemeinsam behandelten Beispiel werden die Schüler gebeten, eine weitere Bewegungsart eigenständig zu bearbeiten.
 - Hierzu soll sich jeder Schüler / jede Gruppe entweder für die gleichmäßig beschleunigte oder die gleichmäßig verzögerte Bewegung entscheiden, wobei nach Möglichkeit beide Bewegungen gleich häufig vertreten sein sollten.
 - Die Schüler sollen dabei von dem vorhandenen Modell der gleichförmigen Bewegung ausgehen, indem sie es entsprechend modifizieren und erweitern.
 - Ob sie dabei wie zuvor beim gemeinsamen Beispiel das Modell erst auf dem Papier entwerfen oder direkt am Computer modellieren, bleibt den Schülern überlassen.
 - Es sollen wieder einerseits die Bewegungen im Simulationsbereich dargestellt, andererseits die gleichen Größen im Diagrammbereich aufgetragen werden, wie bei der Auswertung der entsprechenden Schülerversuche.
 - Am Ende wird für jede Bewegungsart eine gelungene Umsetzung über den Videoprojektor für alle visualisiert und von dem Schüler, der das Modell erstellt hat, erklärt. Besteht keine Möglichkeit zur direkten Projektion von Schülerarbeitsplätzen, kann die Konfiguration zuvor auf den Lehrercomputer übertragen werden.
- Bevor alle Schüler ihre Arbeitsstationen wieder herunternehmen, sollten unbedingt die erstellten Modelle auf geeignete Weise gesichert werden, so dass sie in den nächsten Modulen zur Verfügung stehen. Außerdem werden die Schüler gebeten, in der folgenden Stunde ihre Aufzeichnungen und Auswertungen zu den Schülerversuchen mitzubringen.

gemeinsame Überle-
gungen im Plenum,
Realisierung in Einzel-
oder Partnerarbeit

*Lehrercomputer,
Schülercomputer und
Videoprojektor*

(5 - 10 min)

Modellierung in Einzel- oder Partnerarbeit

Lehrercomputer,
Schülercomputer und
Videoprojektor

(15 - 30 min)

Datensicherung

Schülercomputer und Datenträger

(1 - 2 min)

3.3.2.7 Modul M03

<i>Thema des Unterrichtsmoduls:</i>	Computergestützte Modellierung und Simulation experimentell untersuchter Systeme.
<i>Position innerhalb der Unterrichtsreihe:</i>	Anwendung erstellter Bewegungsmodelle auf Versuchsszenarien und Vergleich mit gemessenen Werten.
<i>Unterrichtsphase:</i>	Modellprüfung an empirischen Daten.
<i>Vorausgesetzte Module:</i>	M02, E01, E02
<i>Empfohlener Lernort:</i>	Computerraum mit möglichst vielen einzelnen Computerarbeitsplätzen und Projektionsmöglichkeit.
<i>Verwendete Methoden:</i>	Partner- oder Gruppenarbeit (je nach Anzahl der PCs)
<i>Eingesetzte Medien:</i>	Computerarbeitsplätze für Schüler, Notebook, Projektor; Inhaltskomponente „Punktmassen“ aus MV1.
<i>Benötigte Unterrichtszeit:</i>	1 bis 2 Unterrichtsstunden.

In diesem Modul erfolgt ein Rückbezug auf die in Modul E01 experimentell gewonnenen Daten sowie deren Auswertung in Modul E02: Die in Modul M01 erarbeiteten Modelle werden auf ihre Übereinstimmung einerseits mit den experimentell erfassten Messwerten (E01), andererseits mit den auf Grundlage dieser Messwerte aufgestellten Hypothesen (E02) verglichen werden. Je nach Ergebnis sind sowohl die graphischen Modelle als auch die mathematisch formulierten Hypothesen gegebenenfalls zu korrigieren oder zu optimieren.

a) Sachaspekte

- Die Übereinstimmung eines Modells mit einer der hypothetischen Lösungsformeln, von denen jede die Abhängigkeit einer Variablen von einer anderen beschreibt, kann unter anderem wie folgt überprüft werden:
 - Zunächst wird über die Objektleiste ein weiteres Objekt hinzugefügt, das mit einer anderen Zeichnung versehen wird (siehe Abschnitt 2.3.1.2e), und im Modelleditor ein neues, leeres Modell für das Objekt angelegt (2.3.1.2a).
 - In das neue Modell wird die berechnete Größe als Zwischengröße eingefügt (in Bezeichnung, Formelzeichen und Einheit übereinstimmend mit der entsprechenden Größe im ersten Modell), welche die zu testende Formel enthält.
 - Dabei ist zu beachten, dass einige der Formeln Abhängigkeiten von der Zeit beschreiben. Die Zeit steht als Variable aber nur dann zur Verfügung, wenn sie als Größe eingeführt wird, sinnvollerweise als Zustandsgröße mit einer Änderungsrate von 1 (trivialerweise ändert sich die Zeit im Zeitintervall dt um dt).

- Um die Übereinstimmung beider Berechnungsvarianten zu prüfen, werden die Ergebnisse als zwei Graphen in einem gemeinsamen Diagramm dargestellt. Dazu werden in zwei verschiedenen Datenreihen jeweils die gleichen Größen gegeneinander aufgetragen, aber aus unterschiedlichen Objekten entnommen und in verschiedenen Farben gezeichnet (siehe Abschnitt 2.3.1.2c).
- Liefern beide Berechnungsverfahren (wie angenommen) die gleichen Ergebnisse, liegen die erzeugten Graphen genau übereinander. Um beide besser unterscheiden zu können, ist es sinnvoll, einen der Graphen ein Stück zu versetzen. Dies kann etwa durch Wahl eines Startwertes für die Zustandsgröße im ersten oder durch Addition einer Konstanten zu der Formel im zweiten Modell realisiert werden.
- Kommt auch im zweiten Modell die Position als Größe vor, sind auch beide im Simulationsbereich zu sehen und sollten sich bei Übereinstimmung der Berechnungsergebnisse genau synchron bewegen.
- Es ist wichtig zu beachten, dass das zweite Modell nur eine Hilfskonstruktion ist, um eine gegebene Lösungsformel für einen Spezialfall zu überprüfen, und selbst nicht der Idee der physikalisch elementaren Modellbildung genügt.
- Ein Beispiel soll das beschriebene Verfahren verdeutlichen:
 - In vorangegangenen Modul M02 wurde unter anderem ein allgemeines, elementares Modell der gleichmäßig beschleunigten Bewegung erarbeitet, das in Abbildung 119 dargestellt ist. Über die gleiche Bewegung wurde in Modul E02 (basierend auf den Messergebnissen aus Lernstation 02) die Hypothese aufgestellt, dass für die Abhängigkeit des Weges von der Zeit gelte: $s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$

Größenart	Name	FZ	Einheit	Größenart	SI	Start / Formel
Parameter	Beschleunigung	a	m / s ²	Vektor	1	3 0 0
Parameter	Verschiebung	s ₀	m	Vektor	1	1 0 0
Zwischengröße	Position	s	m	Vektor	1	a / 2 · t ² + s ₀
Zustandsgröße	Zeit	t	s	Skalar	1	0

Bezugsgröße	Formel
Zeit	dt / dt = 1

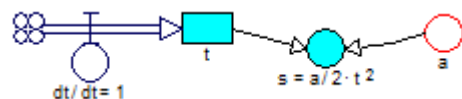


Abbildung 127: Vergleichsmodell zur Kontrolle einer hypothetischen Formel. Dieses Modell beruht nicht auf physikalischen Basisgesetzen, sondern enthält eine konkrete Lösungsformel für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung in einer Dimension. Es dient dazu, die hypothetische Lösungsformel daraufhin zu überprüfen, ob ihre Ergebnisse mit denen des eigentlichen physikalischen Modells übereinstimmen. Zu einem anderen Zweck sollte es im Unterricht keinesfalls verwendet werden.

- Um die Widerspruchsfreiheit dieser beiden Ansätze zu überprüfen, wird also zunächst ein Objekt mit dem bereits existierenden, allgemeinen Modell bestückt. Ein

zweites Objekt wird mit einem neuen Modell versehen, das die Formel als Zwischengröße enthält. wie es in Abbildung 127 zu sehen ist.

- Dabei werden die Parameter und Startwerte gleichnamiger Größen in den beiden Modellen mit den gleichen Zahlenwerten versehen - mit einer Ausnahme: Die Position im ersten Modell erhält einen Startwert, der um 1 m in x-Richtung verschoben ist. Auf diese Weise wird erreicht, dass die Graphen im Diagramm nicht genau übereinander liegen.
- Daraufhin werden im Diagrammbereich zwei Datenreihen angelegt und in beiden wird die Position in x-Richtung gegen die Zeit aufgetragen. Die eine bezieht sich aber auf das erste, die andere auf das zweite Objekt. Es ergibt sich ein Bild mit zwei Graphen, wie es in Abbildung 128 zu sehen ist.

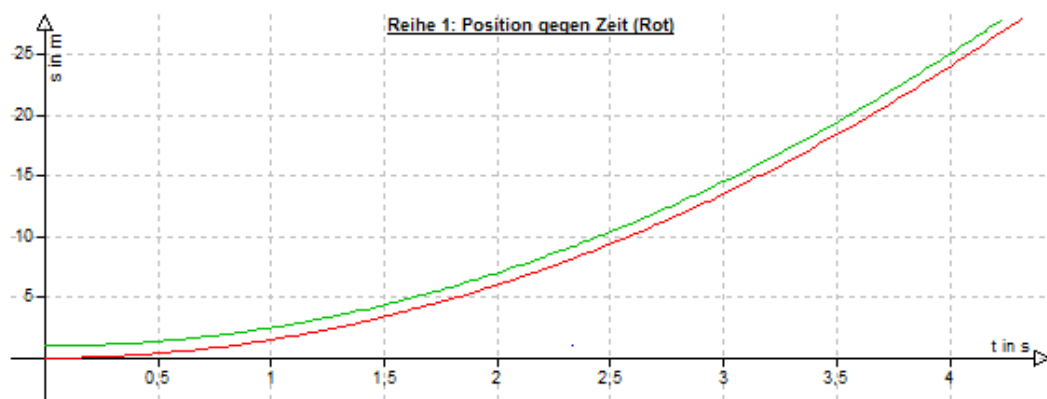


Abbildung 128: Vereinbarkeit zweier Beschreibungen der gleichmäßig beschleunigten Bewegung. Beide Graphen zeigen die Position in x-Richtung in Abhängigkeit von der Zeit. Die grüne Kurve beruht aber auf dem allgemeinen, physikalisch elementaren Modell, das andere auf der Lösungsformel für das $s(t)$ -Gesetz.

- Die Übereinstimmung der Graphen kann für verschiedene Variationen von Parametern und Startwerten getestet werden und ergibt immer übereinstimmende Kurvenverläufe. Dies spricht dafür, dass die beiden Absätze zur Beschreibung der gleichförmigen Bewegung miteinander vereinbar sind.
- Noch wichtiger als die Überprüfung der Vereinbarkeit verschiedener quantitativer Beschreibungen der untersuchten Bewegungen ist es, die Übereinstimmung dieser Beschreibungen mit den Messergebnissen aus den Versuchen zu testen. Hierzu kann beinahe das gleiche Verfahren angewandt werden, das bereits beschrieben wurde; es sind jedoch die folgenden Besonderheiten zu beachten:
 - Zunächst wird eine Messreihe aus einem Versuch ausgewählt, in der eine Größe in Abhängigkeit von einer anderen gemessen wird. Die Messwerte sind zu vergleichen mit Ergebnissen des allgemeinen, physikalisch elementaren Modells, das die gleiche Bewegung beschreibt.
 - Dann werden wie zuvor zwei Objekte erstellt, eines mit dem allgemeinen Modell, das andere mit einem Hilfsmodell, das die Messwerte wiedergibt. Das Hilfsmodell

gleicht dem in Abbildung 127, mit dem Unterschied, dass als Quelle der Zwischengröße nicht eine Formel, sondern eine Tabelle angegeben wird.

- Die Tabelle wird im Standard-Texteditor von Microsoft® Windows® erstellt, indem jeweils ein Wertepaar (durch Semikolon getrennt) in jede Zeile geschrieben und die ganze Messreihe mit einer Überschrift in eckigen Klammern versehen wird. Die Datei wird unter einem beliebigen Namen mit der Endung *.tab in dem Verzeichnis gespeichert, welches auch die aktuelle Konfigurationsdatei enthält.
- Dann werden wie zuvor die beiden Graphen im Diagrammbereich erstellt. Auf eine Verschiebung der Graphen gegeneinander sollte dabei jedoch verzichtet werden. Ziel ist es vielmehr, durch geeignete Wahl der Parameter des allgemeinen Modells die Kurven so genau wie möglich zur Deckung zu bringen.
- Wiederum soll ein Beispiel die Überlegungen verdeutlichen:
 - Gegeben ist der Versuch aus Lernstation 04 in Modul E01, aus dem Daten einer von Schülern der Gustav-Heinemann-Gesamtschule durchgeführten Messreihe vorliegen. Es soll geprüft werden, ob das Modell der gleichmäßig verzögerten Bewegung, wie es in Abbildung 124 dargestellt ist, Ergebnisse hervorbringt, die mit den empirischen Werten vereinbar sind.
 - Hierzu werden wieder zwei Objekte erstellt. Das erste wird mit dem allgemeinen Modell bestückt, für das zweite wird ein Hilfsmodell entworfen, welches eine Tabellengröße enthält. Mit einem Texteditor werden die Messdaten aus dem Versuch eingegeben und unter `Messung.tab` gespeichert. Die Modelle sowie die empirischen Daten sind in Abbildung 129 dargestellt.

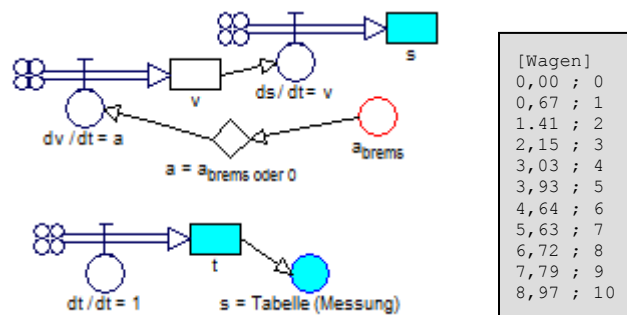


Abbildung 129: Modellprüfung an empirischen Daten. Das obere Modell simuliert eine gleichmäßig verzögerte Bewegung, das untere ist ein Hilfsmodell, das in einer Tabellengröße Messdaten aus Versuch 04 enthält. Im Kasten in der Mitte ist der Inhalt der Tabellendatei `Messung.tab` zu sehen.

- Dann werden im Diagrammbereich zwei Datenreihen erstellt, die beide die Position in x-Richtung gegen die Zeit auftragen und sich auf je eines der beiden Objekte und damit auf je eine der beidem Modelle beziehen.
- Sofern das Modell brauchbar und die Messwerte hinreichend präzise sind, sollten sich beide Graphen zur Deckung bringen lassen. Da die Messwerte unveränderliche Beobachtungstatsachen darstellen, kann dies nur durch Variation der Startgeschwindigkeit und der Bremsverzögerung des allgemeinen Modells geschehen.

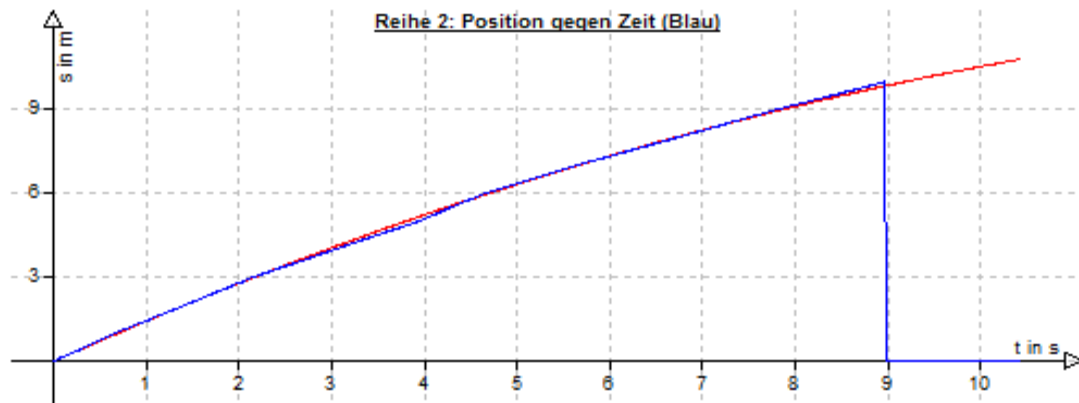


Abbildung 130: Vereinbarkeit eines Modells mit empirischen Messwerten. Dargestellt sind zwei $s(t)$ -Diagramme einer gleichmäßig verzögerten Bewegung. Die rote Kurve wurde auf der Grundlage des Modells in Abbildung 124 berechnet, die blaue beruht auf einer Schülermessung zur Lernstation 04 aus Modul E01. Nach dem letzten aufgezeichneten Messwert nimmt die Tabellengröße sofort den Wert 0 an.

- Auf diese Weise lässt sich ermitteln, dass im vorliegenden Beispiel eine Startgeschwindigkeit von etwa $v_x(t=0) = 1,48 \text{ m/s}$ und eine Bremsverzögerung von etwa $a_{\text{brems}} = -0,015 \text{ m/s}^2$ vorgelegen haben muss. Mit diesen Werten erhält man das Diagramm, das in Abbildung 130 dargestellt ist. Wenn man bedenkt, dass der als Beispiel ausgewählte Schülerversuch derjenige mit den meisten potentiellen Fehlerquellen ist, kann die erreichte Übereinstimmung der Graphen als erstaunlich überzeugendes Ergebnis angesehen werden.

b) Lernziele

- Die Schüler sollen eine Möglichkeit zur Überprüfung der Vereinbarkeit der verschiedenen Codierungen von Bewegungen unter Nutzung der Software „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5 verstehen und anwenden. Konkret sollen sie
 - zwei Objekte erstellen, denen physikalische Modelle im Sinne der verschiedenen Codierungen zugeordnet sind,
 - dabei begreifen, dass die Modelle, welche Lösungsfunktionen oder Messwerte implementieren, nur Hilfsmodelle sind,
 - in einem Diagramm je einen Graphen zu jedem Objekt unter Auftragung der gleichen Größen erstellen und
 - aus der Überlagerung der beiden auf die Vereinbarkeit der Codierungen schließen.
- Diese Strategie wird einerseits dazu genutzt, die Vereinbarkeit der Hypothesen aus Modul E02 mit den Modellen aus Modul M02 zu überprüfen. Dadurch soll
 - den Schülern glaubhaft gemacht werden, dass die hypothetischen Formeln sich tatsächlich als Spezialfälle aus den allgemeinen Modellen ableiten lassen, und
 - den Schülern klar werden, dass sich mithilfe von graphischen Modellbildungssystemen mathematisch geschlossene Lösungen zum Teil umgehen lassen.
- Andererseits soll überprüft werden, ob sich auch die konkreten Messwerte aus den Schülerversuchen mit den entsprechenden Modellen erzeugen lassen, und so eine Simulation durchgeführt werden, welche die Beobachtungen des jeweiligen Versuchsablaufs möglichst genau reproduziert. Dadurch soll
 - geprüft werden, ob die Modelle in der vorliegenden Form bereits hinreichend genau die Beobachtungen vorhersagen und gegebenenfalls Modifikationen oder Erweiterungen vorgenommen werden,
 - den Schülern deutlich werden, dass die Beobachtung am realen Objekt die höchste Instanz zu Entscheidung über die Tragfähigkeit eines Modells ist, und
 - das Wechselspiel zwischen Theorie und Experiment in der naturwissenschaftlichen Forschung im Kleinen nachvollzogen werden.
- Durch den mehrfachen Wechsel der Codierungen soll wiederum
 - der Transfer zwischen den unterschiedlichen Darstellungen erleichtert und
 - verschiedene Lerntypen angesprochen werden.

c) Unterrichtsverlauf

- Vor dem Einschalten der Computer gibt der Lehrer einen kurzen Überblick über den Ablauf des Moduls sowie einige Anweisungen, was unmittelbar nach dem Hochfahren des Systems zu tun ist:
 - Die Ziele des Moduls bestehen darin, einerseits die Vereinbarkeit der Modelle aus Modul M02 und der Hypothesen aus E02 zu überprüfen (Ziel 1), andererseits die Vorhersagen aus dem Modell mit den experimentellen Daten zu vergleichen (Ziel 2).
 - Nach dem Start der Arbeitsplatzrechner sollen die Schüler wieder die Komponente „Punktmassen“ starten und darin ihre Konfigurationsdatei einschließlich der entsprechenden Modelle laden.

Dann erst beginnen die Schüler mit der Ausführung.

- Dann werden die Vorbereitungen getroffen, Ziel 1 in Angriff zu nehmen.
 - Hierzu erarbeitet der Lehrer zunächst in einem fragend entwickelnden Unterrichtsgespräch mit den Schülern die Strategie, wie sie in der Sachanalyse beschrieben ist.
 - Dann demonstriert er kurz über den Videoprojektor, wie mit der Objektleiste der Software MV1 neue Objekte hinzugefügt und mit neuen Modellen bestückt werden.
- Ist das Vorgehen allen klar und gibt es keine Fragen mehr, beginnt die eigentliche Umsetzung durch die Schüler.
 - Jeder Schüler / jede Gruppe soll sich einen der Versuche 02 bis 04 aussuchen, wobei nach Möglichkeit die Versuche einigermaßen gleichmäßig vertreten sein sollten.
 - Dann soll jeweils - anhand der erarbeiteten Strategie - die Vereinbarkeit der Hypothese, die aus dem gewählten Versuch in Modul E02 entwickelt wurde, mit dem entsprechenden Modell aus der Modul M02 überprüft werden. Dabei ist eine weitgehend selbständige Realisierung durch die Schüler mit gegenseitigen Hilfestellungen erwünscht, in die der Lehrer sich so wenig wie möglich einschaltet.

informierender
Unterrichtseinstieg,
Start von System
und Software

Schülercomputer

(4 - 8 min)

fragend entwickelndes
Unterrichtsgespräch

*Lehrercomputer und
Videoprojektor*

(5 - 10 min)

Modellierung in Einzel-
oder Partnerarbeit

Schülercomputer

(7 - 14 min)

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Haben die meisten Schüler / Gruppen die Umsetzung beendet, werden die Ergebnisse präsentiert und interpretiert. <ul style="list-style-type: none"> ◦ Der Lehrer wählt hierfür zu jedem Versuch einen Schüler aus, der seine Umsetzung den anderen über den Videoprojektor präsentiert und erklärt. ◦ Das Plenum entscheidet jeweils, ob die Übereinstimmung überzeugend ist und was für das weitere Vorgehen daraus folgen soll. 	<p>Präsentation der Ergebnisse der Einzel- oder Partnerarbeit</p> <p><i>Lehrercomputer und Videoprojektor</i></p> <p>(8 - 16 min)</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Daraufhin steht die Vorbereitung von Ziel 2 an. <ul style="list-style-type: none"> ◦ Das wird kurz die notwendige Modifikation des Vorgehens, wie die in der Sachanalyse beschrieben ist, mit den Schülern erarbeitet. ◦ Über den Videoprojektor demonstriert der Lehrer, wie der Texteditor aufgerufen, die Messwerte eingegeben und die Datei korrekt abgespeichert wird. 	<p>fragend entwickelndes Unterrichtsgespräch</p> <p><i>Lehrercomputer und Videoprojektor</i></p> <p>(5 - 10 min)</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dann beginnt wieder die Realisierung durch die Schüler. <ul style="list-style-type: none"> ◦ Jeder Schüler / jede Gruppe ist weiterhin für den zuvor ausgewählten Versuch zuständig. ◦ Der erarbeiteten Strategie folgend wird dann von den Schülern geprüft, ob die Vorhersagen aus dem jeweiligen Modell mit ihren individuellen empirischen Daten aus dem entsprechenden Versuch in Einklang zu bringen ist. Die angestrebte Übereinstimmung der erzeugten Graphen kann dabei wahlweise durch analytische Berechnungen oder einfach durch Ausprobieren erzielt werden. Wichtiger als die verwendete Methode ist die Eigenständigkeit der Problemlösung durch die Schüler. 	<p>Modellierung in Einzel- oder Partnerarbeit</p> <p><i>Schülercomputer</i></p> <p>(8 - 16 min)</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nachdem der Großteil der Schüler / Gruppen die Aufgabe bewältigt hat, steht wieder die Präsentation an. <ul style="list-style-type: none"> ◦ Nach Möglichkeit wählt der Lehrer für die Präsentation und Erklärung der Ergebnisse andere Schüler aus als beim vorhergehenden Durchgang. ◦ Bei der jeweils anschließenden Diskussion im Plenum sollte vor allem deutlich werden, dass einerseits Beobachtungen am Realobjekt immer die höchste Instanz bei der Erkenntnisfindung des Naturwissenschaftlers sind, 	<p>Präsentation der Ergebnisse der Einzel- oder Partnerarbeit</p> <p><i>Lehrercomputer und Videoprojektor</i></p> <p>(7 - 14 min)</p>

andererseits aber auch Abweichungen aufgrund von (statistischen oder systematischen) Messungenauigkeiten als solche erkannt und bei der Gewichtung der Ergebnisse entsprechend berücksichtigt werden müssen.



Abbildung 131: Modellierung der Versuchsergebnisse. Verschiedene Schülergruppen modellieren die Bewegungen aus unterschiedlichen Schülerversuchen: Die Messwerte werden über eine Tabellengröße eingebunden. Ein Modell der Bewegung soll dann so entworfen und mit Parametern bestückt werden, dass die beiden Kurvenverläufe (Grundlage ist jeweils das in dem jeweiligen Versuch zu erstellende Diagramm) möglichst zu Deckung gebracht werden. Im rechten Bild (schwierig zu erkennen) ist dies gut gelungen.

- Am Ende sind natürlich wieder alle Daten auf geeignete Weise von den Schülern zu sichern und die Computer herunterzufahren. Außerdem sollten die Schüler gebeten werden, in der folgenden Unterrichtsstunde die Unfallberichte und ihre Aufzeichnungen dazu mitzubringen.

Datensicherung

*Schülercomputer und
Datenträger*

(1 - 2 min)

3.3.2.8 Modul M04

<i>Thema des Unterrichtsmoduls:</i>	Computergestützte Modellierung und Simulation der Vorgänge aus dem Unfallbericht.
<i>Position innerhalb der Unterrichtsreihe:</i>	Computersimulation des lebensweltlichen Problemszenarios unter Verwendung der erarbeiteten Modelle.
<i>Unterrichtsphase</i>	Synthese und Problemlösung.
<i>Vorausgesetzte Module:</i>	L02, M03
<i>Empfohlener Lernort:</i>	Computerraum mit möglichst vielen einzelnen Computerarbeitsplätzen und Projektionsmöglichkeit.
<i>Verwendete Methoden:</i>	Partner- oder Gruppenarbeit (je nach Anzahl der PCs)
<i>Eingesetzte Medien:</i>	Computerarbeitsplätze für Schüler, Notebook, Projektor; Inhaltskomponente „Punktmassen“ aus MV1.
<i>Benötigte Unterrichtszeit:</i>	1 bis 2 Unterrichtsstunden.

In Modul M04 wird der Lebensweltbezug wieder aufgegriffen und die Analyse des polizeilichen Unfallberichtes aus Modul L02 abgeschlossen, indem mit Hilfe der Software „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5 sowie den physikalischen Modellen, die in Modul M02 erstellt worden sind, eine Simulation des Unfalls durchgeführt wird, anhand welcher sich die offen gebliebenen Fragen beantworten lassen.

a) Sachaspekte

- Um die Simulation des Unfallhergangs vorzubereiten, sollte zunächst ein Szenario entworfen werden, welches der realen Verkehrssituation am Ort des Unfallgeschehens hinreichend ähnlich ist.
 - Hierzu wird zunächst im Texteditor von Windows® eine Textdatei erstellt.
 - Darin wird die konkrete Anordnung der Straßen nachgebildet, indem sie mittels der in Abschnitt 2.3.1.3c) beschriebenen Befehle aus den zur Verfügung den Zeichnungsbausteinen zusammengesetzt wird.
 - Außerdem ist im konkreten Fall noch der Laternenpfahl aufzunehmen, welcher die Unfallfahrzeuge letztendlich gestoppt hat. Da Laternen im Befehlssatz nicht zu Verfügung stehen, kann auch ein Baum verwendet werden, was physikalisch hinsichtlich der Wirkung auf die Fahrzeuge keinen Unterschied macht.
 - Schließlich wird die Datei als Szenario-Datei mit der Endung *.szn im gleichen Verzeichnis gespeichert wie die Konfigurationsdatei und in der Eigenschaftenseite Dateien mit ihrem Namen eingetragen (siehe Abschnitt 2.3.1.3a).

Eine konkrete Möglichkeit, wie die Szenario-Datei für den vorliegenden Unfall gestaltet werden kann, ist in Abbildung 132 angegeben.

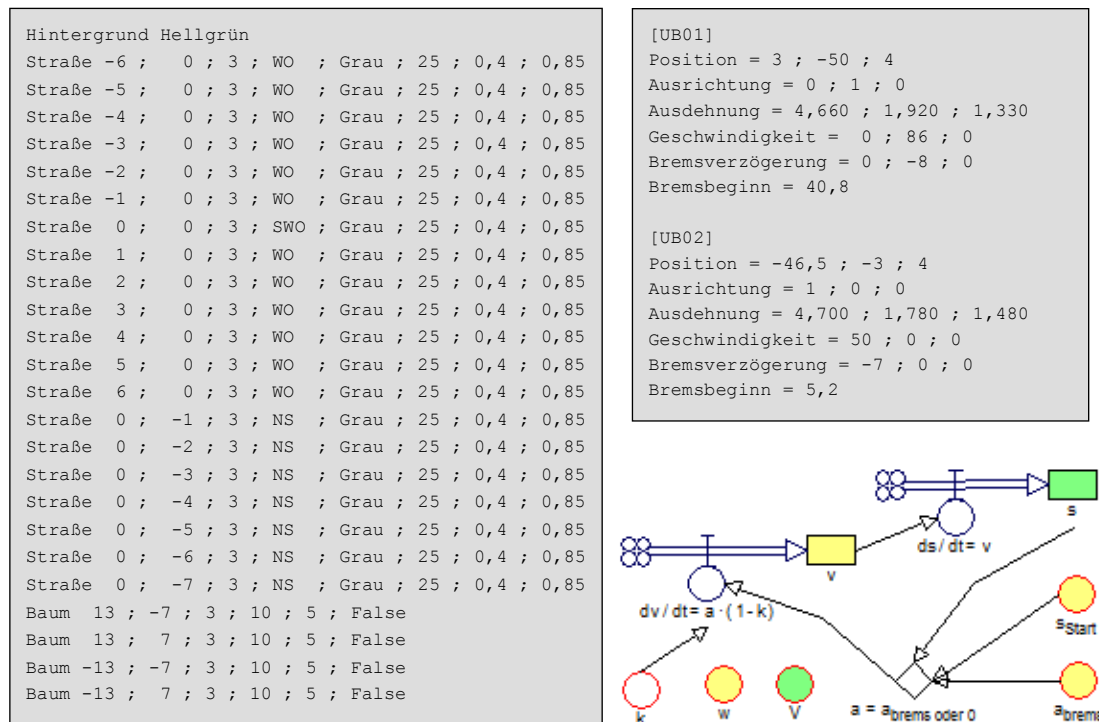


Abbildung 132: Modellierung des Unfallgeschehens. Mit Szenario-Datei **Unfall1.szn**, deren Inhalt im linken Textfeld zu sehen ist, wird eine Straßeneinmündung erzeugt, die der Situation im Unfallbericht hinreichend ähnlich ist, wobei vorhandene Laternen- und Ampelmasten durch Bäume ersetzt wurden. Rechts oben ist eine mögliche Realisierung der Daten-Datei **Unfall1.dat** abgedruckt, die zusammen mit dem Modell, welches darunter dargestellt ist, eine akzeptable Rekonstruktion des vorgegebenen Unfallhergangs ermöglicht. Das Szenario wird vom Lehrer vorgegeben; Objekte, Modell und Datensatz sind von den Schülern eigenständig zu erstellen.

- Die Fahrzeuge sind als Objekte zu erstellen und mit den physikalischen Modellen, Zeichnungen und Datensätzen zu bestücken.
 - Die Erstellung der Objekte kann mit Hilfe der Objektleiste (siehe Abschnitt 2.3.1.2e) realisiert werden.
 - Dann wird mit Hilfe des Modelleditors ein leeres physikalisches Modell erstellt, beliebig benannt und beiden Fahrzeugen mit der Objektleiste zugeordnet.
 - Außerdem wird noch eine leere Textdatei erstellt und etwa unter **Unfall1.dat** im gleichen Verzeichnis wie die Konfigurationsdatei gespeichert. Diese Datei wird in der Eigenschaftenseite **Dateien** als Daten-Datei angegeben.
 - Schließlich muss beiden Objekten noch eine Zeichnung und eine Farbe zugeordnet werden. Da die vorgegebenen Standard-Zeichnungen bereits mehrere Fahrzeugtypen enthalten, ist eine individuelle Erstellung nicht erforderlich.
- Dann kann mit der eigentlichen Modellierung des Geschehens begonnen werden. Als erster und wichtigster Schritt ist dafür ein physikalisches Modell zu erstellen.

- Da beide Fahrzeuge den gleichen physikalischen Prinzipien unterliegen, ist es schlüssig, nur *ein* Modell zu erstellen, das beiden Objekten zugeordnet wird, und die unterschiedlichen Parameter und Startwerte über die Datendatei zuzuweisen.
- Das Modell der gleichmäßig beschleunigten oder verzögerten Bewegung kann als Ausgangsmodell verwendet werden.
- Zu ergänzen ist das Faktum, dass die Verzögerung erst an einer bestimmten Stelle (die für beide Fahrzeuge verschieden ist) einsetzt. Dies kann am besten durch eine Verzweigungsgröße realisiert werden, welche der Beschleunigung erst den Wert 0, dann den (entgegen der Fahrtrichtung gerichteten) Wert a_{brems} zuweist.
- Als Kriterium für die Aktivierung der Verzögerung eignet sich zum Beispiel die Unterschreitung einer bestimmten Entfernung vom Einmündungsmittelpunkt, da im Unfallbericht die Längen beider Bremswege angegeben sind.

Ein mögliches Modell, welches den aufgeführten Kriterien entspricht, ist in Abbildung 132 dargestellt.

- Werden beide Fahrzeuge wie in diesem Beispiel nach demselben physikalischen Modell simuliert, müssen die Konstanten und die Startwerte der Zustandsgrößen (soweit sie sich unterscheiden) über die Datendatei zugeordnet werden.
 - Dazu wird in der bereits angelegten Textdatei zunächst für jedes Fahrzeug eine Überschrift in eckigen Klammern hinzugefügt.
 - Unter jeder Überschrift können dann - wie in Abschnitt 2.3.1.3e) beschrieben - Größenzuweisungen für das jeweilige Fahrzeug vorgenommen werden.
- Zur Bestimmung sinnvoller Werte ist nun wieder der Unfallbericht heranzuziehen und auf relevante Angaben zu untersuchen. Im vorliegenden Beispiel können insbesondere die folgenden Informationen nützlich sein:
 1. Da die Fahrbahn auf der Zinkhüttenstraße einen hochwertigen Belag aufweist und zum Unfallzeitpunkt trocken war, kann davon ausgegangen werden, dass PKW 1 bei der durchgeführten Vollbremsung eine Bremsverzögerung von bis zu 8 m/s^2 erreicht haben kann.
 2. PKW 1 hinterließ eine Bremsspur von $s_1 = 36 \text{ m}$ und kam danach in der Einmündung zum Stehen. Es kann angenommen werden, dass auf dieser Strecke eine verzögerte Bewegung mit annähernd konstanter Bremsverzögerung stattfand.
 3. PKW 2 fuhr nach Angaben der Beifahrerin vor Beginn der kurzfristigen Bremsung mit etwa 50 km/h .
 4. Vor dem Aufprall hinterließ PKW 2 eine Bremsspur von etwa $1,5 \text{ m}$.
 5. Nach eigenen Angaben reagierte der Fahrer des PKW 2 auf das quietschende Geräusch der Reifen von PKW 1 bei dessen Vollbremsung. Die Zeit vom Beginn des Bremsvorgangs von PKW 1 bis zum Beginn des Bremsvorgangs von PKW 2 kann also als Reaktionszeit des zweiten Fahrers angenommen werden.

- Analytisch ließen sich damit die damit folgenden Überlegungen anstellen und dabei die Fragen aus dem Modul L02 (Abschnitt 3.3.2.2) beantworten.

- Für die gleichmäßig verzögerte Bewegung gilt allgemein:

$$s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0 \quad \text{und} \quad v(t) = a \cdot t + v_0 \quad (\text{siehe Abschnitt 3.3.2.4})$$

- Im vorliegenden Beispiel komme PKW 1 nach einer Strecke s_1 und einer Zeit t_1 jeweils vom Beginn des Bremsvorgangs an gerechnet zum Stehen. Also:

$$s_1 = s(t_1) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_1^2 + v_0 \cdot t_1 \quad \text{und} \quad v_1 = v(t_1) = a \cdot t_1 + v_0 = 0$$

- Setzt man die Gleichungen ineinander ein, ergeben sich damit die folgenden Zusammenhänge, in welche jeweils die vorliegenden Werte eingesetzt werden:

$$v_0 = \sqrt{-2 \cdot a \cdot s} = 24 \text{ m/s} = 86,4 \text{ km/h} \quad \text{und} \quad t_1 = -\frac{v_0}{a} = 3 \text{ s}$$

PKW 1 war also vermutlich mit etwa 86 km/h unterwegs (Frage I) und benötigte für seinen Bremsvorgang von 36 m etwa 3 s (Frage III).

- PKW 2 war mit einer Anfangsgeschwindigkeit v_0' unterwegs und prallte nach einer Strecke s_1' und einer Zeit t_1' auf PKW 2. Nach dem Weg-Zeit-Gesetz der gleichmäßig verzögerten Bewegung ergibt sich dann:

$$s_1' = s(t_1') = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_1'^2 + v_0' \cdot t_1' \Rightarrow t_1' = \frac{\sqrt{2 \cdot a \cdot s_1' + v_0'^2} - v_0'}{a} \approx 0,112 \text{ s}$$

Für seinen kurzen Bremsweg bis zum Aufprall benötigt PKW 2 also etwa 0,11 s, sofern er tatsächlich mit 50 km/h unterwegs war.

- Vergleicht man diese Zeit mit der Dauer des Bremsvorgangs von PKW 1, so erhält man eine Differenz von

$$\Delta t = t_1 - t_1' \approx 2,888 \text{ s}$$

Akzeptiert man das gewählte Konstrukt, dass der Fahrer von PKW 2 tatsächlich bereits mit Beginn der geräuschvollen Bremsung von PKW 1 die Gefahr als solche erkannt hat, ergibt sich also für ihn eine Reaktionszeit von 2,89 s (Frage IV).

- Ist die Datendatei bestückt und abgespeichert, kann die eigentliche Simulation des Unfallhergangs durchgeführt werden.
 - Um die Werte zu Übernehmen, wird in MV1 der Schalter Zurücksetzen gedrückt und anschließend die Simulation gestartet. Ein zufrieden stellender, von Schülern modellierter Ablauf ist in Abbildung 133 dargestellt.

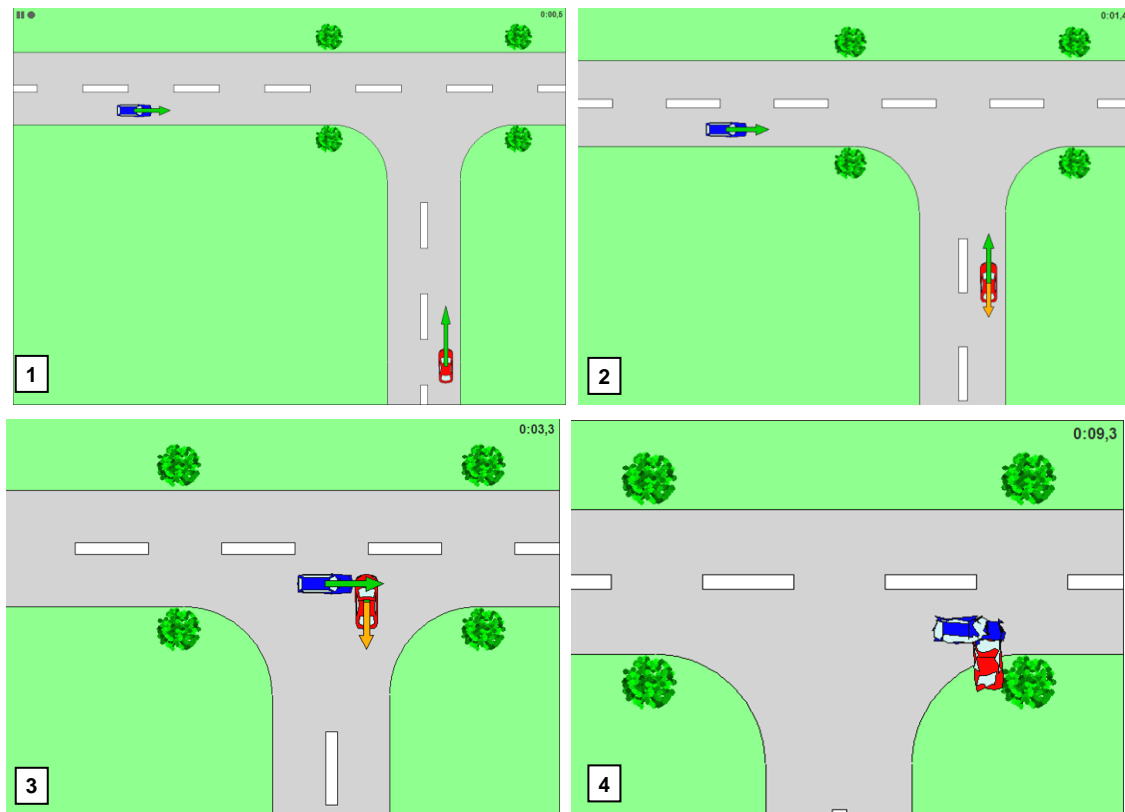


Abbildung 133: Simulation des Unfallgeschehens. Sind die physikalischen Modelle und Werte in den Datendateien, welche den Fahrzeugen zugeordnet werden, sinnvoll gewählt, entspricht der Ablauf im Simulationsbereich dem wahrscheinlichen Unfallhergang, wie er sich aus den Angaben im polizeilichen Unfallbericht rekonstruieren lässt. Hier zu sehen sind vier Momentaufnahmen der Simulation: (1) Beide Fahrzeuge bewegen sich noch ungebremst auf die Einmündung zu. (2) PKW 1 (rot) während des Bremsvorgangs. (3) PKW 1 ist soeben im Einmündungsbereich zum Stehen gekommen. (4) PKW 2 (blau) hat PKW 1 erfasst und vor den Baum (im Realunfall ein Laternenmast) am Straßenrand geschoben. Die Geschwindigkeit wird jeweils durch grüne, die Beschleunigung durch orangefarbene Vektorpfeile dargestellt.

- Zur Ermittlung der passenden Werte für die Datendatei sind die zuvor geschilderten, analytischen Überlegungen hilfreich. Es ist aber auch möglich, durch Ausprobieren zum Ziel zu kommen, indem wiederholt Simulationsläufe durchgeführt, mit den Vorgaben verglichen und bei möglichen Abweichungen Änderungen an den gewählten Werten vorgenommen werden. Auf diese Weise - wiederum durchgeführt von Schülern - sind auch die Werte zustande gekommen, welche in Abbildung 132 rechts oben dargestellt sind.
- Bei diesem Verfahren ist es sinnvoll, Diagramme zur Überprüfung der jeweils aktuellen Genauigkeit des Modells zu verwenden. Im vorliegenden Beispiel wurde etwa die Übereinstimmung der Bremswege anhand der Geschwindigkeits-Weg-Diagramme in Abbildung 134 überprüft.

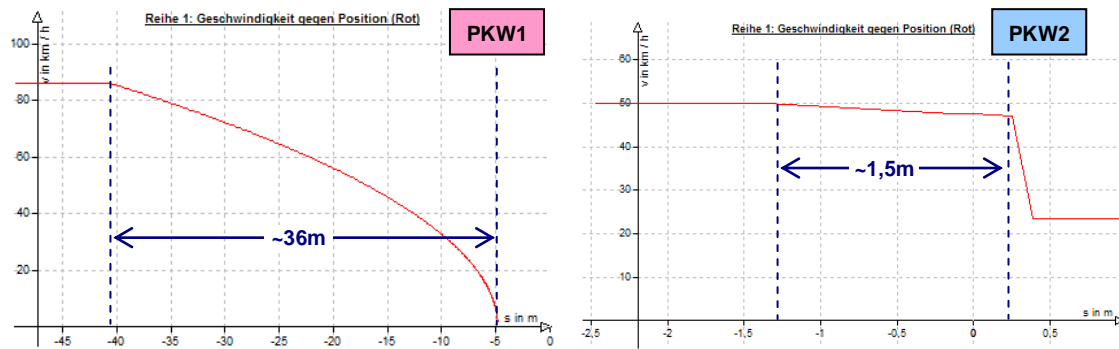


Abbildung 134: $v(s)$ -Diagramme für die simulierten Unfallfahrzeuge. Anhand dieser Ausschnitte der Graphen lässt sich für jedes Fahrzeug überprüfen, ob tatsächlich der im Unfallbericht angegebene Bremsweg erreicht wird.⁴⁶

- Eine weitere Möglichkeit, Vergleiche des simulierten Unfallhergangs mit den Erwartungen anzustellen, ist die Verwendung von Vektoren. In der Simulation welche in Abbildung 133 Szenenartig dargestellt ist, kann etwa überprüft werden, ob die Geschwindigkeit von PKW 1 zum erwarteten Zeitpunkt 0 wird und wann bei beiden Fahrzeugen jeweils die Bremsvorgänge einsetzen.
- Dann steht wiederum die Beantwortung der Fragen aus Modul L02 an.
 - Zur Ermittlung der Zeiten, welche in den Fragen III und IV thematisiert werden, sind ebenfalls Diagramme erforderlich, aus welchen die Werte abzulesen sind. Wie aus den Geschwindigkeits-Zeit-Diagrammen in Abbildung 135 zu erkennen, stimmen auch hierbei die Ergebnisse mit den analytischen gut überein.

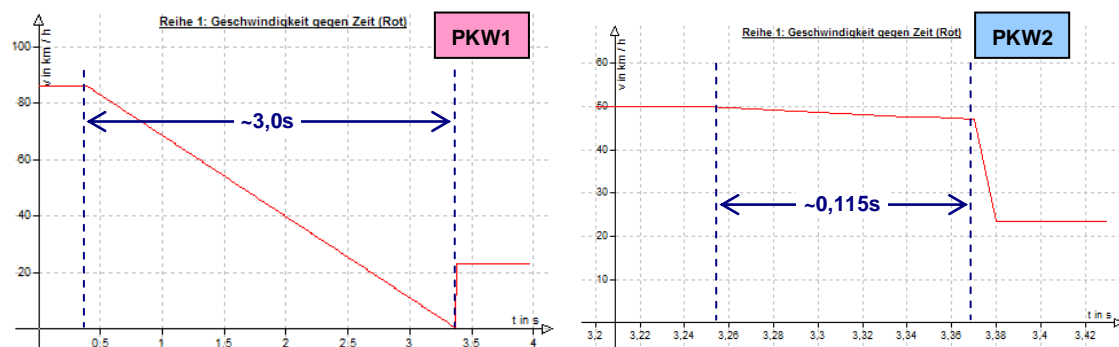


Abbildung 135: $v(t)$ -Diagramme für die simulierten Unfallfahrzeuge. Anhand dieser Ausschnitte der Graphen lässt sich für jedes Fahrzeug überprüfen, ob tatsächlich der im Unfallbericht angegebene Bremsweg erreicht wird.

- Zur Beantwortung von Frage IV ohne weitere Rechnung ist eine gemeinsame Auftragung beider Geschwindigkeiten gegen die Zeit sinnvoll, wie die im Diagramm in Abbildung 136 vorgenommen wurde. Hier lässt sich unmittelbar die

⁴⁶ Die Diagramme in Abbildung 134 und den folgenden 3 Abbildungen wurden mit MV1 erstellt; die zusätzlichen, blauen Beschriftungen wurden nachträglich hinzugefügt, um zu verdeutlichen, wie anhand der Graphen von den Schülern relevante Werte abgelesen werden können.

vermutliche Reaktionszeit des Fahrers von PKW 2 abschätzen. Außerdem ist hier gut der zeitliche Verlauf des Unfallgeschehens nachvollziehen, einschließlich der gemeinsamen Bewegung nach dem Aufprall bis zum Einschlag in den Pfahl.

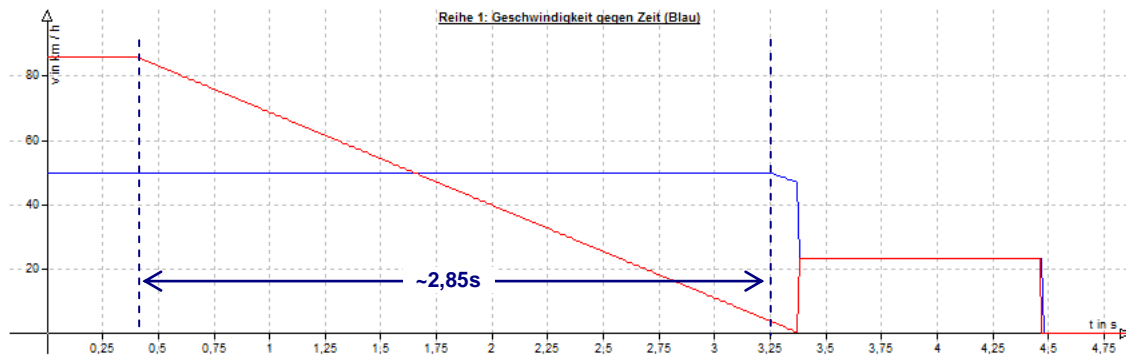


Abbildung 136: $v(t)$ -Diagramme für die simulierten Unfallfahrzeuge. Das Diagramm zeigt den zeitlichen Verlauf des Betrages der Geschwindigkeiten während des gesamten Unfallverlaufs. Die rote Kurve bezieht sich auf PKW 1, die blaue auf PKW 2.

- Schließlich sind noch die Fragen II und V offen, in welchen es um die Vermeidbarkeit des Unfalls durch die beiden Beteiligten geht. Beide lassen sich wiederum durch Ausprobieren ermitteln. So wäre der Fahrer von PKW 1 bereits bei einer Geschwindigkeit von 83 km/h unter gleichen Bedingungen rechtzeitig zum Stehen gekommen, also gerade 3 km/h weniger.
- Aber auch der Fahrer des zweiten PKW hätte den Unfall vermeiden können. So führt bereits ein 10 m früherer Bremsbeginn dazu, dass PKW 2 ohne Aufprall zum Stehen kommt. Wie im Diagramm in Abbildung 137 ablesbar, entspricht das einer Reaktionszeit von knapp 2 Sekunden.

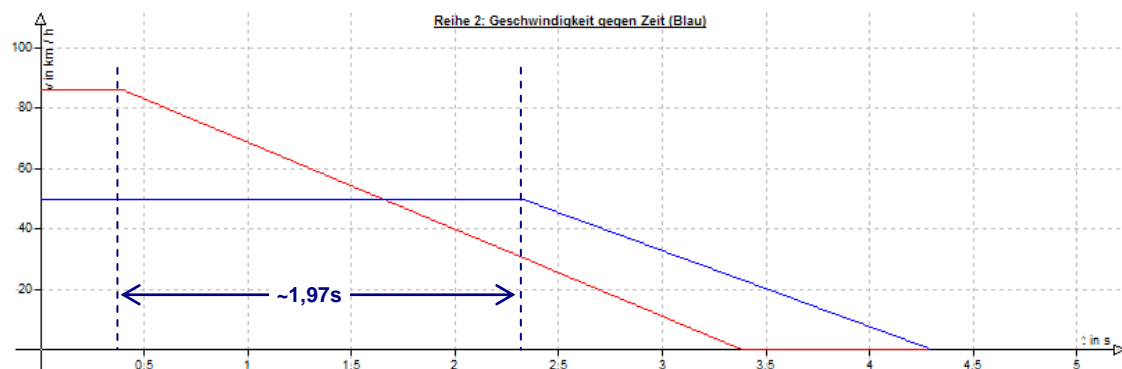


Abbildung 137: $v(t)$ -Diagramme bei vermiedenem Unfall. Der Bremsbeginn von PKW 2 wurde auf 15,2 m verschoben, was einer ablesbaren Reaktionszeit von knapp 2 s entspricht. Die rote Kurve bezieht sich wieder auf PKW 1, die blaue auf PKW 2.

- Zusammenfassend können die Fragen aus Modul L02 also - egal ob analytisch oder durch Ausprobieren an der Simulation - wie folgt beantwortet werden:
 - I. PKW 1 fuhr mit etwa 86 km/h vor Beginn seiner Gefahrenbremsung.
 - II. Bereits mit 83 km/h hätte Fahrer 1 den Unfall vermeiden können.

- III. Der Bremsvorgang von PKW 1 hat etwa 3 s in Anspruch genommen.
- IV. Die Reaktionszeit des Fahrers von PKW 2 betrug vermutlich etwa 2,8 s.
- V. Hätte die Reaktionszeit 1,9 s betragen, hätte Fahrer 2 den Unfall verhindert.
- Obwohl beide Fahrer den Unfall hätten vermeiden können, liegt die Schuld in rechtlicher Hinsicht aber eindeutig bei Fahrer 1, da dieser nicht nur durch eine stark überhöhte Geschwindigkeit, sondern auch durch die Einnahme von Alkohol vor Antritt der Fahrt eindeutig gegen die Straßenverkehrsordnung verstoßen hat. Lange Reaktionszeiten hingegen stellen zwar auch eine potentielle Gefährdung des Straßenverkehrs dar, werden aber nicht als Ordnungswidrigkeiten verfolgt.

b) Lernziele

- Die Schüler sollen die Kenntnisse, Fertigkeiten und Problemlösungsstrategien, welche sie in den vorangegangenen Unterrichtsmodulen erworben haben, möglichst eigenständig dazu nutzen, um die Lösung des ursprünglichen Lebensweltproblems - der detaillierten Rekonstruktion und Beurteilung eines Verkehrsunfalls - zum Abschluss zu bringen. Konkret sollen sie dabei
 - ihre Kenntnisse über geradlinige Bewegungen und graphische Modellbildung nutzen, um geeignete physikalische Modelle zur numerischen Berechnung des Verhaltens der beteiligten Fahrzeuge zu erstellen,
 - unter Verwendung der physikalischen Zusammenhänge, die sie auf Grundlage der Ergebnisse der Schülerversuche vermutet und mit Hilfe systemdynamischer Modelle als sinnvoll bestätigt haben, die quantitativen Angaben aus dem Unfallbericht in brauchbare Werte für Zustandsgrößen und Parameter zu überführen, und
 - ihr Wissen über die Software „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5 anwenden, um den Unfallhergang zu simulieren und geeignete Diagramme zu erstellen, mit deren Hilfe sich die zu Anfang formulierten Fragen abschließend beantworten lassen.
- Dabei soll unter anderem
 - erworbenes Wissen der Schüler durch Anwendung gefestigt werden,
 - die Fähigkeit der Schüler zum eigenständigen Lösen komplexer Probleme ohne genaue Vorgabe zu nutzender Kenntnisse und Strategien gefördert werden,
 - durch den parallelen Umgang mit verschiedenen Codierungen eines Sachverhalts der Transfer zwischen diesen Ebenen geübt und dabei das Gelernte von den Schülern zunehmend als ein zusammengehöriges Ganzes wahrgenommen werden,
 - die Unterrichtsreihe insoweit abgerundet werden, dass alle Probleme und Fragestellungen des lebensweltlichen Kontextes zu einem befriedigenden Ergebnis gelangen und nicht in den Augen der Schüler als bloße „motivierende Einstiege“ missbraucht werden, und schließlich

- bei den Schülern sich die Überzeugung verfestigen, dass physikalisches Wissen durchaus geeignet ist, reale Probleme auch aus ihrer eigenen, alltäglichen Umwelt zu lösen und nicht nur konstruierte und lebensferne Laborprobleme zu bearbeiten.
- In Bezug auf den lebensweltlichen Kontext sollen die Schüler erkennen,
 - dass nicht angepasste Geschwindigkeiten unter ungünstigen Umständen Situationen herbeiführen können, in denen ein Unfall selbst bei guter Reaktion, optimalen Straßenverhältnissen und einwandfreiem Fahrzeugzustand nicht zu vermeiden ist,
 - dass es im innerstädtischen Verkehr durch hohe Aufmerksamkeit und damit verbundene kurze Reaktionszeiten durchaus möglich ist, Fehler anderer Verkehrsteilnehmer zu kompensieren und Unfälle zu vermeiden,
 - dass Vorschriften der Straßenverkehrsordnung in aller Regel nicht der Willkür des Gesetzgebers entspringen, sondern physikalischen Bedingungen Rechnung tragen, denen auch der Straßenverkehr unterliegt, und die sich weder durch ausgefeilte technische Maßnahmen, noch durch fahrerisches Können aushebeln lassen.

c) **Unterrichtsverlauf**

- Wie bereits in den Modulen M02 und M03 praktiziert, wird wieder vor dem Hochfahren der Computer mit den Schülern das Thema des Unterrichtsmoduls besprochen und entsprechende Arbeitsaufträge gegeben.
 - Zunächst ordnet der Lehrer kurz das aktuelle Modul in den Gesamtverlauf der Unterrichtsreihe ein: Nach der Gewinnung des Lebensweltproblems wurden die erforderlichen Kenntnisse zu dessen Lösung (in Experiment, Theorie und Modell) erworben. Nun steht der Rückbezug auf das konkrete Ausgangsproblem an.
 - Hierzu sollen sich die Schüler als erstes (unter Zuhilfenahme ihrer Aufzeichnungen) an den letzten Stand des Erkenntnisprozesses aus der Unfallanalyse erinnern und die offen gebliebenen Fragestellungen reproduzieren, was noch einmal Stichwortartig an der Tafel notiert wird.
 - Dann erhalten die Schüler die Anweisung für den ersten Arbeitsschritt: Der Lehrer hat im User-Verzeichnis jedes Schülers eine Szenario-Datei abgelegt. Es soll das Programm „Punktmassen“ gestartet und diese Szenario-Datei eingebunden werden.
 - Dann beginnen die Schüler gemeinsam mit der Ausführung dieses Auftrags.

informierender
Unterrichtseinstieg,
Start von System
und Software

*Schülercomputer,
Tafel , Kreide*

(5 - 10 min)

- Sobald alle Schüler den ersten Arbeitsschritt absolviert haben, wird das erste Ziel vorgegeben:
 - Aufbauend auf dem vorgegebenen Szenario soll der Unfallhergang in möglichst guter Übereinstimmung mit den Angaben aus dem Unfallbericht simuliert werden.
 - Im Unterrichtsgespräch wird eine grobe Strategie erarbeitet, was dabei insgesamt zu tun ist: Die Fahrzeuge müssen als Objekte erstellt werden, und den Objekten muss jeweils (zumindest) ein Modell und eine Zeichnung zugeordnet werden. Sofern für dasselbe Modell verwendet werden soll, muss jedem Modell noch eine Datendatei zugeordnet werden, welche den Größen individuelle Werte zuordnet.
 - Dann werden die Schüler aufgefordert, die Aufgabe eigenständig in den bereits bestehenden Gruppen zu bearbeiten. In welcher Reihenfolge die Schritte ausgeführt werden, wie die physikalischen Modelle aussehen sollen und wie am besten die Daten ermittelt werden, wird im Plenargespräch nicht beantwortet.

Unterrichtsgespräch

Tafel, Kreide

(5 - 10 min)

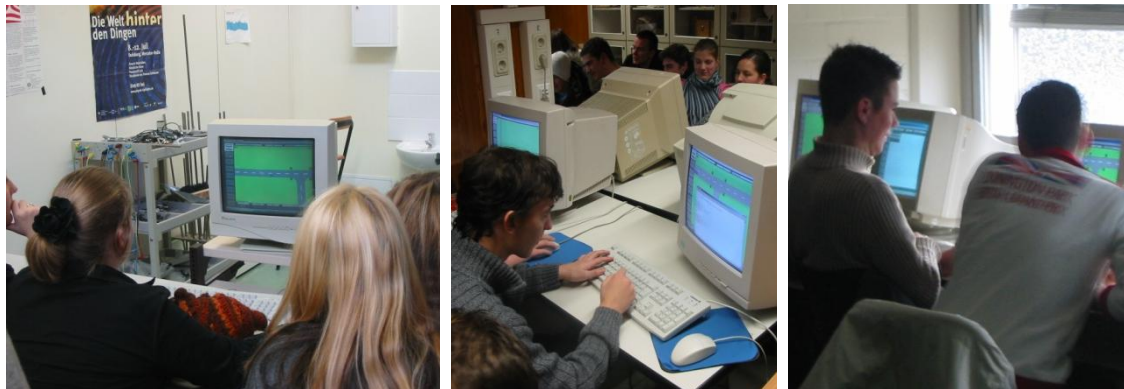


Abbildung 138: Simulation des Unfallgeschehens. Unter Verwendung der von ihnen erarbeiteten physikalischen Modelle erstellen die Schüler eine Simulation des Unfallgeschehens, das mit der Beschreibung im Unfallbericht so gut wie möglich übereinstimmt. Die Verkehrssituation ist als Szenario-Datei (siehe Abschnitt 2.3.1.3c) vorgegeben, die Schüler erzeugen selbst die Objekte, erstellen die physikalischen Modelle und legen über Daten-Dateien (siehe Abschnitt 2.3.1.3e) die Werte der Parameter fest. Die Ergebnisse der einzelnen Gruppen werden schließlich über den Video-Projektor vorgestellt (rechtes Bild) und diskutiert.



<ul style="list-style-type: none">■ Es folgt die Durchführung der Gruppenarbeit:<ul style="list-style-type: none">◦ Die Schüler haben dabei die freie Auswahl, wie sie bei der Problemlösung vorgehen und welche der erworbenen Kenntnisse sie zu welchem Zweck einsetzen wollen.◦ Zwei mögliche Ansätze, die zur Lösung geeignet wären, sind in der Sachanalyse dargestellt. Kommen einzelne Gruppen in ihren Bemühungen nicht weiter, kann der Lehrer entsprechende Hinweise geben, wobei der bereits erzielte individuelle Fortschritt aufzugreifen ist.◦ Vorrang hat jedoch die eigenständige Problemlösung, auch wenn sie nicht optimal ist oder sogar im Einzelfall gar nicht zum gegebenen Ziel führt.	<p>Gruppenarbeit</p> <p><i>Schülercomputer, Papier und Stifte</i></p> <p>(15 - 30 min)</p>
<ul style="list-style-type: none">■ Sobald einige Gruppen eine brauchbare Simulation des Unfallgeschehens erarbeitet haben, wird die Gruppenarbeit kurz unterbrochen.<ul style="list-style-type: none">◦ Der Lehrer wählt zwei gute Simulationen aus und zeigt diese für alle über den Videoprojektor. Ein Schüler aus jeder der ausgewählten Gruppen berichtet kurz grob über das gewählte Vorgehen. Die übrigen Schüler können das Ergebnis bewerten und mit ihren Vorstellung vom realen Unfallverlauf abgleichen.◦ Dann bekommen die Schüler einen darauf aufbauenden Auftrag: Sie sollen sich zwei der am Ende von Modul L02 formulierten Fragen aussuchen und diese mit Hilfe der Simulation quantitativ beantworten.	<p>Unterrichtsgespräch</p> <p><i>Lehrercomputer und Videoprojektor</i></p> <p>(5 - 10 min)</p>
<ul style="list-style-type: none">■ Die Gruppenarbeit wird fortgesetzt.<ul style="list-style-type: none">◦ Die Schüler, die noch nicht die erste Aufgabe beendet hatten, sollten diese erst zu Ende bringen.◦ Sinnvoll und wünschenswert zur Lösung der zweiten Aufgabe (wie in der Sachanalyse dargestellt) ist die Verwendung von Diagrammen, aber auch analytische Lösungen können zum Ziel führen.	<p>Gruppenarbeit</p> <p><i>Schülercomputer, Papier und Stifte</i></p> <p>(10 - 20 min)</p>
<ul style="list-style-type: none">■ Am Ende werden die ermittelten Antworten auf die Fragen gesammelt und vom Lehrer an der Tafel festgehalten. Dabei werden auch erste Schlussfolgerungen für den lebensweltlichen Kontext im Sinne der Lernziele herausgearbeitet.	<p>Unterrichtsgespräch</p> <p><i>Tafel, Kreide</i></p> <p>(5 - 10 min)</p>

3.3.2.9 Modul L03

<i>Thema des Unterrichtsmoduls:</i>	Polizeiaufgaben am Unfallort, reale Unfallschäden, sinnvolle Verhaltensstrategien für Fahrer und Mitfahrer.
<i>Position innerhalb der Unterrichtsreihe:</i>	Konsequenzen der Problemlösung in der Lebenswelt, Perspektiven für zukünftiges Handeln.
<i>Unterrichtsphase:</i>	Anwendung und Transfer.
<i>Vorausgesetzte Module:</i>	(L02)
<i>Empfohlener Lernort:</i>	Unterrichtsraum mit Platz für Rollenspiel; Schulhof.
<i>Verwendete Methoden:</i>	Unterrichtsgespräch; Rollenspiel; Objektbegutachtung.
<i>Eingesetzte Medien:</i>	Reales Unfallfahrzeug; Notebook, Lenkrad, Pedale; Inhaltskomponente „Kurvenfahrt“ aus MV1.
<i>Benötigte Unterrichtszeit:</i>	1 bis 2 Unterrichtsstunden.

a) Sachaspekte***Risikoverhalten junger Fahrer im Straßenverkehr***

- Wie bereits in Abschnitt 3.3.2.1 herausgearbeitet wurde,
 - ist die Gruppe der 18- bis 24-jährigen PKW-Fahrer überproportional häufig an schweren Verkehrsunfällen mit Getöteten oder Verletzten beteiligt,
 - ist „nicht angepasste Geschwindigkeit“ mit etwa 25% die mit Abstand häufigste „Hauptunfallursache“ dieser Verkehrsunfälle und
 - sind junge Männer sehr viel häufiger als Verursacher an diesen Unfällen mit hoher Geschwindigkeit und Personenschaden beteiligt als junge Frauen.
 - Allerdings werden junge Frauen im Alter von 15 bis 17 Jahren wesentlich häufiger als Mitfahrerinnen verletzt oder getötet als ihre männlichen Altersgenossen, im Jahr 2004 beispielsweise 4913 junge Frauen gegenüber 3078 jungen Männern der gleichen Altersgruppe (STAT-BA 2005 B Tabellen 5.8.2 und 5.8.3).
- Dabei gibt es einige typische Unfallszenarien, welche bei der besagten Personengruppe besonders häufig anzutreffen sind. Die wichtigste Rolle spielt dabei ein Unfalltypus, welchen KRAMPE als „Alleinunfall“, andere (etwa LIMBOURG ET AL. 2002) als „Disco-Unfall“ bezeichnen. Diese Unfälle weisen (unter anderem nach KRAMPE 2004) im Wesentlichen folgende Charakteristika auf:
 - Das verunfallte Fahrzeug ist mit mehreren Personen, meistens sogar voll besetzt.
 - Alle Insassen sind zwischen 15 und 24 Jahren alt.
 - Der Fahrer ist männlich und hat wenig Fahrerfahrung.
 - Das Fahrzeug ist spät nachts bei Dunkelheit unterwegs.

- Die gewählte Geschwindigkeit ist unangemessen hoch.
- Der Fahrer verliert ohne fremde Einwirkung die Kontrolle über das Fahrzeug.
- Das Fahrzeug kommt von der Fahrbahn ab und prallt gegen ein Hindernis.
- Besonders auf Landstraßen sind die Folgen solcher Unfälle besonders schwer.
- Mitfahrer werden oft wesentlich schwerer verletzt als der Fahrer selbst.
- Die Fahrten, bei welchen sich diese Art von Unfällen ereignen, weisen für den Fahrer einige erschwerende Rahmenbedingungen auf:
 - Voll besetzte Fahrzeuge zeigen ein verändertes fahrdynamisches Verhalten. So wird etwa durch die größere Masse bei gleicher Bremskraft der Bremsweg verlängert. Außerdem wird der Schwerpunkt nach oben verlagert, was bei Bremsvorgängen oder Kurvenfahrten zu einer ausgeprägteren dynamischen Radlastverschiebung führt, die sich wiederum negativ auf die Spurstabilität des Fahrzeugs auswirkt. Voll besetzte Fahrzeuge sind also schwerer zu beherrschen.
 - Fahrten bei Dunkelheit außerhalb geschlossener Ortschaften, wo nur wenig äußere Beleuchtung vorhanden ist, weisen schwierige Sichtverhältnisse auf: Kurven oder Hindernisse sind nur innerhalb der Reichweite des Scheinwerfers zu erkennen, und entgegenkommende Fahrzeuge können den Fahrer blenden.
 - Hinzu kommt, dass nach einer langen Nacht in der Disco der Fahrer unter Müdigkeit und Erschöpfung leiden kann, was die Aufmerksamkeit beeinträchtigt.
 - Bei den typischen Discofahrten herrscht außerdem oft eine ausgelassene und übermütige Stimmung unter den Mitfahrern: Laute Musik, emotionsgeladene Gespräche, unkontrollierte physische Interaktionen und Alkoholkonsum der Mitfahrer bilden starke Ablenkungsreize für den Fahrer.
 - Oft wird dabei der Fahrer hinsichtlich seines Fahrstils bewertet und zu riskanten Fahrmanövern animiert.
 - Erschwerend kommt bei all dem hinzu, dass Fahranfänger naturgemäß noch wenig fahrpraktische Erfahrungen haben und daher insbesondere in kritischen Situationen oft nicht auf ein geeignetes Verhaltensrepertoire zurückgreifen können.
- Trotz dieser ungünstigen Bedingungen zeigen die jungen Fahrer gerade bei den „Disco-Fahrten“ ein besonders risikofreudiges Fahrverhalten mit stark überhöhten Geschwindigkeiten. Dabei spielen verschiedene Aspekte eine Rolle:
 - Ein Aspekt ist das jugendspezifische Risikoverhalten, also das „bewusste Wagnis von Handlungen, die schädigende Folgen haben können“ (KRAMPE 2004). Hierfür gibt es nach KRAMPE im Wesentliche drei verschiedene Erklärungsansätze:
 1. Die jungen Erwachsenen befinden sich entwicklungspsychologisch in einer kritischen Phase ihrer Persönlichkeitsentwicklung. Das bewusste Suchen von Risiken erfüllt in dieser Phase an sich eine durchaus positive Funktion, da es

Grenzerfahrungen vermittelt, die bei der Fehlersuche Kompetenzdefizite und falsche Selbsteinschätzungen offenbaren kann.

2. Andererseits kann ein ausgeprägtes Risikoverhalten auch als Handlungsstrategie „zur Bewältigung von psychischen Überforderungen in Schule, Elternhaus oder Freizeit“ (KRAMPE 2004) aufgefasst werden. Risikoverhalten in diesem Verständnis ist unproduktiv und insbesondere bei Jugendlichen zu finden, denen es an geeigneten Vorbildern für zielführenderes und gefahrloseres Verhalten in Krisensituationen mangelt.
 3. Darüber hinaus gibt es nach ZUCKERMAN den Typus des „*High Sensation Seekers*“ (ZUCKERMAN / RUCH2001), der ebenfalls besonders häufig bei jungen Männern im Alter von 18 bis 20 Jahren anzutreffen ist. Menschen mit diesem Persönlichkeitsmerkmal bevorzugen ein hohes Erregungsniveau, „sind ständig auf der Suche nach starken Empfindungen und intensiven Erlebnissen und nehmen dabei auch gesundheitliche, rechtliche und soziale Risiken in Kauf“ (KRAMPE 2004). Die Neigung zum High Sensation Seeking wird von Zuckerman insbesondere auf hormonelle Ursachen zurückgeführt.
- Ein weiterer Grund liegt in der Überschätzung der eigenen fahrerischen Fähigkeiten: Beim Führen eines Kraftfahrzeugs im Straßenverkehr wird man immer wieder mit gefährlichen Situationen konfrontiert, von denen der überwiegende Teil aber nicht zu Unfällen führt. Nach MUSAHL neigt der Mensch dazu, jede dieser unfallfrei überstandenen Situationen als Bestätigung seines eigenen, fahrerischen Könnens zu interpretieren, was gerade bei Fahranfängern mit geringen praktischen Erfahrungen zu einer gefährlichen Kontrollillusion führen kann (MUSAHL 1997). Tatsächlich schätzen sich nach LIMBOURG junge Fahrer im Alter von 18 bis 21 Jahren zu 86% als sichere Fahrzeugführer ein (LIMBOURG ET AL. 2002).
 - Ein weiterer wichtiger Aspekt betrifft gruppendynamische Prozesse zwischen den Fahrzeuginsassen. Danach kann risikoreiches Verhalten vollkommen unterschiedliche Hintergründe haben, wie zum Beispiel die folgenden:
 - Genießt der Fahrer der Gruppenhierarchie einen übergeordneten Status, kann eine risikoreiche Fahrweise der Demonstration seiner überlegenen Fähigkeiten und somit zur Festigung seiner starken Position innerhalb der Gruppe dienen.
 - Kommt dem Fahrer ein niedrigerer Gruppenstatus zu, kann er sich auch gegen seine Überzeugung zu risikoreichem Verhalten durch seine Mitfahrer genötigt sehen, da ihm Widerspruch gegen Ranghöhere nicht zugestanden wird.
 - Des Weiteren kann es sich auch um ein geschlechterspezifisches Imponierverhalten gegenüber einer weiblichen Mitfahrerin handeln, insbesondere dann, wenn neben der umworbenen jungen Frau auch männliche Konkurrenten zu den Mitfahrern gehören.

Mögliche Handlungsperspektiven

- Es gibt also gerade bei Disco-Fahrten eine Reihe ungünstiger Einflussfaktoren - zu welchen neben äußeren Rahmenbedingungen auch jugendspezifische Persönlichkeitsmerkmale und gruppendynamische Interaktionen gehören - welche das Risiko folgenswerer Verkehrsunfälle erhöhen. Selbst wenn also ein Schüler alle in den vorhergehenden Modulen angestrebten Lernziele erreicht hat, kann er trotzdem in Situationen kommen, in denen er nicht seinen Erkenntnissen, sondern den beschriebenen Verhaltensmustern folgt. In dem aktuellen Modul geht es daher auch darum, den Betroffenen - über die Erkenntnis der Gefahr und ihrer Ursachen hinaus - ebenso Handlungsperspektiven zu eröffnen, wie sie der scheinbaren Zwangsläufigkeit dieser Situationen entgehen können. Einige mögliche Beispiele folgen.
- Aus Sicht des betroffenen Fahrers könnten folgende Überlegungen hilfreich sein:
 - Risikoreiches Fahrverhalten gefährdet besonders die Mitfahrer. Damit demonstriert er nicht Überlegenheit, sondern Verantwortungslosigkeit und Schwäche.
 - Innerhalb einer Gruppe ist es viel eher ein Zeichen von Mut und Selbstbewusstsein, trotz herablassender Kommentare seinen eigenen Überzeugungen zu folgen, als dem Druck nachzugeben.
 - Der Fahrer ist allein für sein Verhalten sowie das Schicksal seiner Mitfahrer verantwortlich. Wenn er mit unverantwortlichem Verhalten dem Wunsch seiner Mitfahrer folgt, ist dies rechtlich ohne Belang.
 - Niemand darf sich als Fahrer fremd bestimmen lassen. Akzeptieren Mitfahrer den Fahrstil des Fahrers nicht und stören unaufhörlich durch negative Kommentare, kann er sie als Ultima Ratio vor die Wahl stellen, ob sie lieber aussteigen wollen.
 - Besser ist es allerdings, bereits vor Antritt der Fahrt genau zu überlegen, wen man in seinem Fahrzeug mitnimmt, und so potentielle Konflikte zu vermeiden.
 - Bezüglich des Imponierverhaltens gegenüber weiblichen Mitfahrerinnen kann die Erkenntnis hilfreich sein, dass die Mehrheit der jungen Frauen dieses Verhalten in Wahrheit gar nicht schätzt.
- Aber auch als Mitfahrerin oder Mitfahrer gibt es durchaus Möglichkeiten, gefährlichen Situationen aus dem Weg zu gehen.
 - Zunächst sollte man sich vor einem Discobesuch überlegen, wie man wieder nach Hause kommt und den Rückweg nicht dem Zufall überlassen.
 - Ist für den Rückweg die Mitfahrt in einem PKW geplant, sollte neben gruppendynamischen Erwägungen die Einschätzung des Verantwortungsbewusstseins des Fahrers unbedingt in die Wahl des Fahrzeugs mit einbezogen werden.
 - Beobachtet man als Mitfahrerin im Fahrzeug eine der beschriebenen ungünstigen gruppendynamischen Entwicklungen, kann man sich als Teil der Gruppe bemühen, einen mäßigenden Einfluss auszuüben.

- Dabei ist es wichtig, den Fahrer nicht zu reglementieren oder zu bevormunden, um nicht am Ende das Gegenteil zu erreichen. Besser geeignet sind etwa sachliche Argumente, die nicht kritisieren, sondern informieren. Hierbei können (gerade für weibliche Insassen) solide physikalische Kenntnisse hilfreich sein, um von dem männlichen Fahrer überhaupt ernst genommen zu werden.
- Ist der Fahrer auf der sachlichen Ebene nicht erreichbar, sind stets „Ich-Botschaften“ gegenüber „Du-Botschaften“ zu bevorzugen. Eine Aussage wie „Ich fühle mich nicht wohl, wenn Du so fährst!“ sollte weniger abwehrende Reaktionen hervorrufen als etwa „Du hast ja wieder einen schrecklichen Fahrstil!“.
- Nicht zuletzt sollte natürlich darauf geachtet werden, nicht zu einem Fahrer in ein Fahrzeug zu steigen, der zuvor Alkohol oder Drogen konsumiert hat. Abgesehen vom Unfallrisiko sind die Mitfahrer bei Verstößen sogar mit haftbar.

Behördliches Vorgehen nach einem Verkehrsunfall

- Wird die Polizei an den Ort eines schweren Verkehrsunfalls gerufen, haben die Beamten zunächst dafür zu sorgen, dass Versorgung und Abtransport der Verletzten, die sichere Regelung oder Umleitung des fließenden Verkehrs und - nach der Sicherung von Spuren - die Räumung und Säuberung der Unfallstelle gewährleistet sind.
- Dann nehmen sie eine Verkehrsunfallanzeige auf.
 - In dieser werden unter anderem die Personalien aller Unfallbeteiligten und Zeugen festgestellt, die Daten der Unfallfahrzeuge sowie Angaben zur Verkehrssituation, Straßenbeschaffenheit und Sichtverhältnissen aufgeführt (Anhang 5.2.1.2).
 - Im Unfallfundbericht werden außerdem Aussagen der Beteiligten und Zeugen (als „subjektive Tatbestände“) aufgenommen und Spuren an den Fahrzeugen, auf der Fahrbahn und an Personen (als „objektive Tatbestände“) festgehalten.
 - Außerdem werden in der Regel Unfallskizzen mit genauen Maßen in einer standardisierten Symbolsprache angefertigt und gegebenenfalls Fotos vom Unfallort aufgenommen, auf denen die relevanten Details erkennbar sind.
- Im Zuge dieser Tätigkeiten muss der zuständige Beamte auch aufgrund der Gesamtheit seiner Eindrücke vor Ort einige vorläufige Entscheidungen treffen
 - Erstens muss er angeben, welcher der Beteiligten nach seiner Einschätzung den Unfall verursacht hat und dies entsprechend vermerken.
 - Außerdem muss er entscheiden, ob ein strafrechtlich relevanter Vorgang vorliegt. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn Unfallbeteiligte verletzt wurden oder einer der Beteiligten unter Alkohol- oder Drogeneinfluss stand. Besteht die Möglichkeit einer Straftat, wird der Fall an die Staatsanwaltschaft weitergeleitet, liegt nur eine Ordnungswidrigkeit vor, ist die Bußgeldbehörde zuständig.
- Die Beurteilungen durch den Beamten vor Ort haben allerdings nur vorläufige Gültigkeit und sind nicht rechtsverbindlich.

- Die endgültigen Entscheidungen trifft der Staatsanwalt oder die Bußgeldstelle.
- Liegen Unstimmigkeiten vor oder wird ein Widerspruch eingelegt, kann die zuständige Behörde einen externen Sachverständigen beauftragen, ein Gutachten zu erstellen. Dieser macht sich aufgrund der protokollierten Unfallspuren und möglicherweise einer eigenen Begutachtung der Fahrzeuge oder des Unfallortes ein stimmiges Bild vom Unfallhergang. Dabei kommen vielfach spezielle Softwareprodukte zur physikalisch fundierten Unfallsimulation zum Einsatz.

b) Lernziele

- Die Schüler sollen sich kurz mit der Tätigkeit eines Sachverständigen beschäftigen, dessen Aufgaben sie in den vorangegangenen Unterrichtsmodulen übernommen haben. Dabei sollen sie insbesondere erkennen,
 - an welcher Stelle innerhalb behördlicher Handlungen nach einem Unfall der Sachverständige aktiv wird,
 - was dabei genau seine Aufgaben sind und wie er ungefähr vorgeht, und vor allem,
 - dass sowohl das strategische Vorgehen zur Problemlösung als auch die verwendeten Zusammenhänge und die eingesetzten Medien aus dem Unterricht durchaus mit denen realer Sachverständiger vergleichbar ist.
- Hinsichtlich der unfallstatistischen Faktenlage sollen die Schüler sich noch einmal - teilweise wiederholend - klar machen,
 - dass ihre Altersgruppe besonders häufig schwere Verkehrsunfälle verursacht,
 - dass die meisten dieser Unfälle mit überhöhter Geschwindigkeit einhergehen,
 - dass junge Männer sehr viel mehr schwere Unfälle verursachen als junge Frauen,
 - dass aber junge Frauen häufiger als Mitfahrerinnen verletzt oder getötet werden.
- Besonders intensiv und auf verschiedenen Ebenen sollen die Schüler sich mit dem Typus des „Disco-Unfalls“ auseinandersetzen, dem auch unfallstatistisch eine besondere Bedeutung zukommt.
 - Dabei soll zunächst der besondere Stellenwert dieser Unfälle erkannt werden.
 - Die charakteristischen Merkmale der Unfälle dieses Typus sollen aufgrund von Erfahrungen, Zeitungsberichten und eigenen Überlegungen erarbeitet werden.
 - Die Schüler sollen sowohl ihre physikalischen Kenntnisse, als auch ihren persönlichen Erfahrungshintergrund nutzen, um nach möglichen Ursachen dieser Disco-Unfälle zu suchen, und zwar hinsichtlich
 - äußerer Rahmenbedingungen bei Disco-Fahrten,
 - jugendspezifischer und individueller Persönlichkeitsmerkmale,
 - sowie gruppendynamischer Prozesse innerhalb des Fahrzeugs.

- Das erarbeitete Ursachenraaster sollen die Schüler auf ihre eigene, individuelle Lebenssituation beziehen und überprüfen, welche der Aspekte auch für sie zutreffen und welche nicht. Dieser Transfer unterrichtlicher Erkenntnisse auf die eigene Person und das eigene Handeln ist von besonderer Bedeutung.
- Die Schüler sollen sich bewusst machen, dass sie aller Wahrscheinlichkeit nach trotz ihrer erworbenen Erkenntnisse weiterhin für die als problematisch erkannten Verhaltensmuster empfänglich sind.
- Aufgrund dieser Erkenntnis sollen sie durch rollenspielerische Auseinandersetzung für sich individuelle Handlungsperspektiven erarbeiten und erproben, um besonders risikoreiche Situationen zu vermeiden oder zumindest zu entschärfen. In der Rolle als Mitfahrer sollen sie dabei in die Lage versetzt werden, ein sich einstellendes Flusserlebnis des Fahrers zu brechen und ihn wieder für rationale Überlegungen zugänglich zu machen.
- Schließlich sollen die Schüler noch an einem realen Unfallfahrzeug, in welchem Jugendliche bei einem typischen Disco-Unfall in der eigenen Stadt schwer verletzt wurden, feststellen, welche für die Insassen ganz offenkundig lebensbedrohenden Verformungen bereits ein Aufprall mit relativ niedriger Geschwindigkeit verursachen kann. Hierdurch soll auch eine intensivere emotionale Auseinandersetzung mit den gewonnenen Erkenntnissen in Gang gebracht werden.

c) Unterrichtsverlauf

Das Unterrichtsmodul L03 wird vollständig von dem Beamten des Kommissariats Vorbeugung der örtlichen Polizeibehörde durchgeführt, der bereits das Unterrichtsmodul L01 bestritten hat. Auch hier ist im Sinne eines reibungslosen organisatorischen Ablaufs eine frühzeitige Terminabsprache anzuraten.

Bei der Durchführung in Mülheim an der Ruhr war es außerdem in einigen Fällen möglich, ein erst kurz vor Beginn der Unterrichtsreihe verunfalltes Fahrzeug zu Anschauungszwecken während der Unterrichtszeit auf dem Schulhof abladen zu lassen. Es handelte sich dabei um eine kostenlose Gefälligkeit der Firma Knochenhauer, welche von der Polizei Mülheim häufig mit dem Abschleppen und Entsorgen von Unfallfahrzeugen beauftragt wird. Ob eine derartige Möglichkeit auch in anderen Städten besteht, sollte frühzeitig vor Ort in Erfahrung gebracht werden. Die tatsächliche Realisierbarkeit an einem konkreten Termin hängt am Ende natürlich auch davon ab, ob gerade ein geeignetes Unfallfahrzeug verfügbar ist und ob das Unternehmen bei gegebener Auslastung ein Abschleppfahrzeug nebst Fahrer während der Unterrichtszeit entbehren kann.

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Zum Einstieg greift der Polizist die Ergebnisse der Analyse, Simulation und Beurteilung des Unfallberichtes auf: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Hierzu sollen die Schüler zunächst möglichst frei zusammenfassen, wie sich nach ihrer Ansicht der Unfall abgespielt hat, wie die Schulfrage zu bewerten ist und wie der Unfall hätte vermieden werden können ◦ Am Ende berichtet der Polizist aus seiner eigenen Kenntnis des Unfalls über seine Einschätzung und bietet den Schülern damit ein Korrektiv, an dem sie ihre Ergebnisse bewerten können. | <p>repetierendes
Unterrichtsgespräch
(5 - 10 min)</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Dann geht es darum, wie die Schüler vorgegangen sind, um zu ihrer Einschätzung zu gelangen, und wie die Arbeit eines „echten“ Sachverständigen aussieht. <ul style="list-style-type: none"> ◦ Hierzu befragt der Beamte die Schüler zunächst, welche Angaben aus dem Unfallbericht sie herangezogen und wie sie dann weiter vorgegangen sind. ◦ Daraufhin erarbeitet er mit den Schülern, wie Polizei, Staatsanwaltschaft, Bußgeldstelle und Versicherung vorgehen, wenn die Polizei zu einem Unfall gerufen wurde, und wie der Sachverständige in das gesamte Procedere eingebunden ist. ◦ Schließlich berichtet er kurz darüber, wie die Sachverständigen an ihre Informationen kommen, wie sie strategisch vorgehen und welche Hilfsmittel sie benutzen. Die Schüler selbst sollen dies dann zu ihrer eigenen Problemlösung in Beziehung setzen. | <p>fragend entwickelndes
Unterrichtsgespräch
(5 - 10 min)</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Im nächsten Schritt geht es um die Charakteristika von „Disco-Unfällen“. <ul style="list-style-type: none"> ◦ Dazu kommt der Beamte zunächst wieder auf den Unfall aus dem Unfallbericht zurück. Dieser wird als ganz typischer Unfall für junge Menschen dieser Altersgruppe herausgestellt und als „Disco-Unfall“ verallgemeinert. ◦ Der Polizist erarbeitet mit den Schülern aufgrund ihrer eigenen Erfahrungen, unter welchen Bedingungen eine Rückfahrt von der Disco in der Regel stattfindet: Typische Uhrzeiten und Strecken, Anzahl und Alter der Mitfahrer, Art des Fahrzeugs, Fahrerfahrung und Zustand | <p>fragend entwickelndes
Unterrichtsgespräch
<i>Tafel, Kreide</i>
(10 - 20 min)</p> |

des Fahrers. Eventuell notiert er einige weiterverwertbare Informationen an der Tafel.

- Dann wird auf das Geschehen im Fahrzeug fokussiert. Insbesondere sollten die Schüler für sich klären, unter welchen Bedingungen sich der Fahrer zu riskanten Fahrmanövern und hohen Geschwindigkeiten hinreißen lässt, womit sich die Mitfahrer während der Fahrt beschäftigen und in welchem Zusammenhang das Verhalten des Fahrers mit dem Verhalten der Mitfahrer steht.

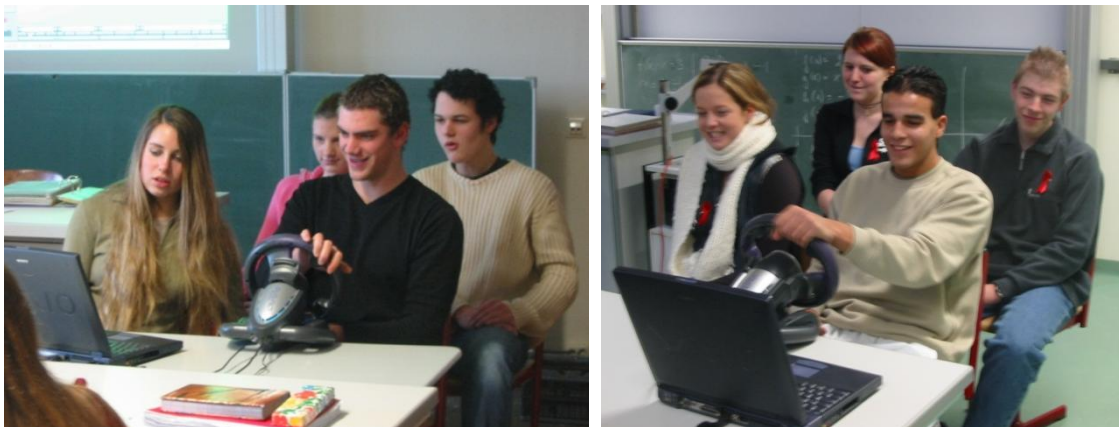


Abbildung 139: Rollenspiel über Gruppendynamik im Fahrzeug. Vier freiwillige Schüler (2 Jungen, 2 Mädchen) bekommen die Aufgabe, sich in eine vorgegebene Situation in einem voll besetzten Fahrzeug auf dem Rückweg von einer Diskothek hineinzufinden, wobei jeder die allgemein gehaltene Beschreibung seiner Rolle aus einer Rollenkarte erhält und mit seiner eigenen Erfahrung beleben soll. Um eine reale Ablenkung des Fahrers durch den Verkehr zu simulieren, bedient dieser mittels eines Lenkrades die Komponente „Kurvenfahrt“ des Softwarepaketes MV1.

- Im folgenden Schritt soll das (in Ansätzen) erkannte Problem in einem Rollenspiel mit Leben gefüllt werden, um daraus Handlungsperspektiven für konkrete Situationen zur Problemlösung zu entwickeln.
 - Zuerst wählt der Polizist vier Freiwillige - zwei Mädchen, zwei Jungen - als Akteure für das Rollenspiel aus, die restlichen Schüler bilden die Beobachtergruppe.
 - Spieler und Beobachter werden getrennt eingewiesen; sinnvollerweise kann der Polizeibeamte mit den Rollenspielern vor die Tür gehen, während der Fachlehrer die Beobachter im Klassenraum einweist.
 - Die Spieler erhalten Rollenkarten (siehe Anhang 5.2.1.10), auf denen grob ein Szenario auf einer

Rollenspiel:
Einweisung
Rollenkarten
(5 min)

co-Fahrt umrissen wird. Die Schüler teilen die Rollen unter sich auf und einigen sich auf inhaltliche Tisierungen der Vorgaben, sowohl hinsichtlich der Rahmenhandlung, als auch in Bezug auf die Ausgestaltung ihrer Rollen.

- Die Beobachtergruppe erhält den Auftrag, genau die Interaktion zwischen den Spielern zu beobachten. Insbesondere sollen sie darauf achten, welche Verhaltensweisen der Mitfahrer sich positiv oder negativ auf das Verhalten des Fahrers auswirken. Dabei sollen sie sich auch fragen, für wie realistisch sie die Gespräche halten und was sie anders machen würden.

- Dann beginnt das eigentliche Rollenspiel.
 - Zunächst werden 4 Stühle so angeordnet wie die Sitze in einem PKW. Vor dem Fahrer wird ein Notebook aufgebaut, an das Lenkrad und Pedale angeschlossen sind. Auf dem Notebook wird die Komponente „Kurvenfahrt“ aus der Software MV1 gestartet. Die Spieler müssen für die Beobachter gut zu sehen sein.
 - Dann spielen die Akteure eigenständig das vereinbarte Szenario nach. Sie sollen dabei versuchen, sich entsprechend ihrer Rollen möglichst natürlich und realistisch zu verhalten. Eine Eskalation der Situation ist dabei durchaus erwünscht. Für den Fahrer kann es hilfreich sein, das Fahrzeug in der Software zu steuern, da dies ebenso seine Konzentration erfordert wie der Straßenverkehr in der entsprechenden Realsituation.
- Falls die Gruppe nicht von allein zum Ende kommt, beendet der Polizeibeamte das Spiel, wenn der Gesprächsverlauf stagniert und keine neuen Aspekte mehr liefert.
 - Zuerst ist die Beobachtergruppe an der Reihe. Die Schüler äußern zunächst ihre Beobachtungen hinsichtlich des Fahrerverhaltens und der Interaktion der Gruppe, Einschätzungen zur Realitätsnähe sowie sonstige Eindrücke.
 - Dann kommen die Spieler zu Wort und berichten, wie sie ihre eigene Rolle gesehen haben, wie intensiv sie sich in das Geschehen hineinfinden konnten, ob sie Elemente

Rollenspiel:
Durchführung

*Stuhlanordnung,
Notebook mit MV1,
Lenkrad, Pedale*

(5 - 15 min)

Rollenspiel:
gemeinsame Analyse
Notebook mit MV1,
Lenkrad, Pedale
(10 - 15 min)

aus realen Situationen wieder erkannt haben und ob sie mit den Eindrücken der Beobachter übereinstimmen.

- Schließlich wird die Frage aufgeworfen, welche alternativen Verhaltensmöglichkeiten sich für die einzelnen Akteure bieten, um den beobachteten Fehlentwicklungen, die in gefährliche Situationen münden können, entgegenzuwirken. Sofern es sich anbietet, kann der Beamte die Schüler, die interessante Vorschläge machen, auffordern, jeweils mit einem der Akteure den Platz zu tauschen und den Vorschlag direkt rollenspielerisch umzusetzen.
- Je nach Gesprächsverlauf bringt der Polizist gelegentlich Impulse ein. Schließlich forciert er allgemeinere Formulierungen der Lösungsansätze im Sinne der Sachanalyse und führt die Begriffe „Ich-Botschaften“ und „Du-Botschaften“ ein.



Abbildung 140: Nachbesprechung und Auswertung des Rollenspiels. Die nicht als Akteure beschäftigten Schüler erhalten Beobachtungsaufträge. In einer ungezwungenen Gesprächsatmosphäre werden die Beobachtungen nach dem eigentlichen Rollenspiel (hier von POK Ronsieck, linkes Bild) zu einer weiterführenden Diskussion genutzt. Dabei geht es neben beobachteten Verhaltensmustern auch um die Frage nach den Ursachen problematischer Entwicklungen und möglicher Handlungsalternativen, die dann von den Vorschlagenden selbst gespielt werden können.

- Wenn möglich wird schließlich ein reales Unfallfahrzeug von den Schülern in Augenschein genommen.
 - Da es sich in der Regel um innerstädtisch verunfallte Fahrzeuge handelt, wird der Aufprall selten mit mehr als 50 km/h stattgefunden haben. Gerade diese zeuge sind besonders beeindruckend, da die gen wesentlich stärker ausfallen, als die meisten Schüler vermuten würden. Insbesondere bei seitlichem Aufprall

Besichtigung eines
Unfallfahrzeugs

Unfallfahrzeug

(5 - 15 min)

(siehe Abbildung 141) reichen mangels einer „Knautschzone“ schon relativ geringe Geschwindigkeiten, um den kompletten Beifahrerbereich zu zerstören.

- Durch die Unmittelbarkeit des Eindrucks drängt sich vermutlich die Vorstellung auf, selbst auf diesem Sitz gesessen zu haben, und die bisher sprachlich formulierte Lebensbedrohlichkeit bereits relativ geringer Aufprallgeschwindigkeiten wird eindringlich veranschaulicht und erscheint dabei unmittelbar evident.
- Der Polizist berichtet über den Hergang des Unfalls sowie Alter und Befinden der verunfallten Personen und analysiert gemeinsam mit den Schülern die Schäden.
- Mit einigen abschließenden Worten des Polizeibeamten endet die Unterrichtsreihe.

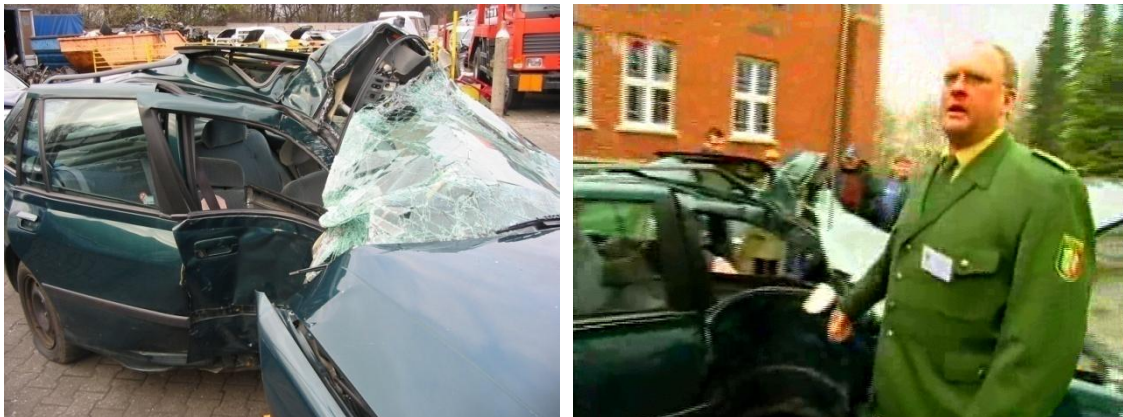


Abbildung 141: Unfallfahrzeug. Dieses Kraftfahrzeug wurde von der Firma Knochenhauer, einem Abschlepp-Unternehmen aus Mülheim Ruhr, für mehrere Schuleinsätze als Anschauungsobjekt zur Verfügung gestellt. Drei junge Erwachsene saßen in dem Fahrzeug, als der Fahrer auf der Heimfahrt von einer Diskothek die Kontrolle verlor und mit etwa 50 km/h gegen einen Baum prallte. Alle Insassen überlebten den Unfall schwer verletzt. Auf dem linken Bild lässt sich die Position des Baumes in der Beifahrertür gut erkennen, auf dem rechten Bild erklärt POK Tromm von der Polizei Mülheim Ruhr Schülern anhand des Fahrzeugs Details zu Airbags und Seitenaufprallschutz.

3.4 Flankierende Maßnahmen

In Abschnitt 3.2.2 wurde der Kontext „Teilnahme am Straßenverkehr“ ausführlich dargestellt. Dabei sollte deutlich geworden sein, was durch die verkehrspädagogischen Bemühungen innerhalb einer Unterrichtsreihe im Physikunterricht, wie sie hier vorgestellt worden ist, theoretisch erreichbar ist und was nicht. Es sei daher hier noch kurz darauf verwiesen, dass die vorgestellte Unterrichtsreihe des Autors durch weitere Maßnahmen der Projektgruppe ergänzt werden, von denen zwei hier herausgestellt werden:

- Die Maßnahme, die hier als „Modul L01“ als Bestandteil der Unterrichtsreihe vorgestellt wurde, wird seit Mitte 2003 sehr regelmäßig vom Autor in Kooperation mit den Polizeioberkommissaren Ronsieck und Tromm vom „Kommissariat Vorbeugung“ als eigenständige Maßnahme an Schulen und Betrieben in Mülheim an der Ruhr durchgeführt. Bisher wurden auf diese Weise in über 100 Veranstaltungen mehr als 2000 Schüler erreicht, von denen nur ein kleiner Teil überhaupt noch mit Physik als Unterrichtsfach zu tun hat. Eine getrennte Evaluation dieser Maßnahmen ist zurzeit in Vorbereitung und für das Jahr 2006 geplant.
- Eine weitere Strategie wird von Herrn Dr. Bresges verfolgt und derzeit erprobt. Sie wird durchgeführt in Zusammenarbeit mit dem „Verkehrsdienst“ der Polizei Mülheim an der Ruhr. Dabei werden *Geschwindigkeitskontrollen* der Polizei zu verkehrspädagogischen Maßnahmen aufgewertet: Wird ein Verkehrsteilnehmer mit zu hoher Geschwindigkeit vom Radargerät gemessen, wird er von einem Polizeibeamten zunächst wie üblich zum Anhalten aufgefordert.



Abbildung 142: Verkehrspädagogische Maßnahme an einer Radarkontrolle. Wird ein Fahrzeug mit überhöhter Geschwindigkeit vom Radargerät (links) gemessen, wird der Fahrer von einem Polizisten „heraus gewinkt“ (Mitte). Neben der üblichen Sanktionen (Bußgeld, Führerscheinentzug) wird der Fahrer dann zu Herrn Dr. Bresges zu einer Kurzschulung in den Polizeibus gebeten (rechts).

Bevor jedoch von der Polizei die obligatorischen Sanktionen durchgeführt werden, wird der Verkehrsteilnehmer (freiwillig) zur Teilnahme an einem kurzen „verkehrsdidaktischen Gespräch“ zu Herrn Dr. Bresges in den Polizeibus gebeten, wo ihm sein persönliches Risiko demonstriert wird:

Auf einem Notebook läuft die Komponente „Anhalteweg“ der Software „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5 (zur Beschreibung der Komponente siehe Abschnitt 2.3.1.5a). Herr Dr. Bresges fragt den Teilnehmer nach der zugelassenen und der gemessenen Geschwindigkeit und trägt beide in die Software ein. Ebenso wählt er eine zum Fahrzeug und den Witterungsverhältnissen passende Bremsverzögerung.

Dann führt der Teilnehmer einen Reaktionstest aus und kommt in der Simulation vor der Mauer zum Stehen. Dann soll der Proband die Aufprallgeschwindigkeit des zweiten, zu schnellen Fahrzeugs auf das Hindernis schätzen. Daraufhin wird die zweite Fahrt gestartet und das Ergebnis mit der Schätzung verglichen.

Danach erklärt Herr Dr. Bresges kurz die Ursachen der hohen Aufprallgeschwindigkeit anhand der beiden entstandenen Diagramme. Das ganze Gespräch sollte nicht mehr als 5 Minuten in Anspruch nehmen. Danach werden von den Polizisten die vorgeschriebenen Sanktionen durchgeführt.

Das Konzept wird derzeit durch die Durchführung von Telefoninterviews einige Zeit nach der Messung hinsichtlich seiner Wirksamkeit evaluiert. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden im Oktober 2006 von Herrn Dr. Bresges veröffentlicht.

4 Evaluation

In Kapitel 2 wurde eine Lernsoftware vorgestellt, welche das didaktische Potential interaktiver Computersimulationen und graphischer Modellbildungssysteme vereinen soll und sich dabei am Kontext „Straßenverkehr und Fahrzeugtechnik“ orientiert. In Kapitel 3 wurde ein Unterrichtskonzept und daraus eine exemplarische Unterrichtsreihe entworfen, welche die Software als integralen Bestandteil einbezieht und über die Analyse, Modellierung und Simulation eines realen Unfalls ebenfalls dem Straßenverkehr als Kontext eine wichtige Bedeutung zumisst.

In diesem Kapitel geht es nun darum, empirisch zu untersuchen, inwieweit die Ziele, welche mit der Software und der Unterrichtsreihe verfolgt werden, im durchgeführten Unterricht (siehe Abschnitt 3.3) tatsächlich erreicht wurden.

Zunächst werden in Abschnitt 4.1 Konzeption und Durchführung der Studie vorgestellt. Hierzu werden in Abschnitt 4.1.1 die Ziele und Arbeitshypothesen formuliert, in Abschnitt 4.1.2 Aufbau und Konzeption des Fragebogens dargelegt - der komplette Fragebogen im ursprünglichen Layout ist im Anhang unter 5.2.2.2 abgedruckt - und in Abschnitt 4.1.3 die Durchführung der Studie thematisiert.

In Abschnitt 4.2 geht es dann um die Vorstellung und Auswertung der Ergebnisse. Hierzu werden zuerst in Abschnitt 4.2.1 die verwendeten technischen Hilfsmittel dargestellt, die gewählten graphischen Darstellungsformen vorgestellt und erläutert und die angewandten statistischen Verfahren erklärt. In Abschnitt 4.2.2 werden dann die einzelnen Fragen des Fragebogens vorgestellt und für jede Frage ein relativ allgemeines Profil der gegebenen Antworten angegeben. Danach werden in Abschnitt 4.2.3 die in Abschnitt 4.1.1 formulierten Hypothesen wieder aufgegriffen und anhand der vorliegenden empirischen Daten geprüft. Am Ende werden die Ergebnisse in Abschnitt 4.2.3.6 zusammenfassend bewertet und das abschließende Fazit formuliert.

Nachtragend werden in Abschnitt 4.2.4 die Daten schließlich noch auf weitere interessante Zusammenhänge untersucht.

4.1 Konzeption und Durchführung der Studie

4.1.1 Zielsetzung

4.1.1.1 Gemeinsame Ziele von Software und Unterrichtsreihe

Um die Wirksamkeit der durchgeführten Maßnahmen zu untersuchen, ist es sinnvoll, zunächst noch einmal die Ziele zu formulieren, welche damit verfolgt werden. Dabei erscheint es im vorliegenden Fall nicht fruchtbar, genau zwischen den Zielen zu unterscheiden, welche durch den Einsatz der vom Autor entwickelten Software „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5 und welche durch die restlichen Aspekte des Unterrichtskonzeptes erreicht werden sollen, da sich erstens die Ziele in vielen Bereichen überschneiden, und zweitens eine entsprechende Differenzierung anhand der empirischen Daten ohnehin nicht möglich wäre. Im Wesentlichen werden durch Software und Unterrichtsreihe folgende Ziele verfolgt:

- Z 1 Die Schüler sollen die *physikalischen Grundlagen* einfacher, geradliniger verstehen und reproduzieren können, wobei besonderer Wert auf den Transfer zwischen verschiedenen Codierungen der einzelnen Sachverhalte gelegt wird.
- Z 2 Sie sollen einen Einblick in naturwissenschaftliche Arbeitsweisen und Erkenntnisprozesse gewinnen, an Beispielen die Natur *physikalischer Modelle* kennen lernen und deren hypothetischen Charakter erkennen.
- Z 3 Die Schüler sollen in die Lage versetzt werden, ihr physikalisches Wissen auf komplexe, *lebensweltliche Probleme* anzuwenden, und sich so zugleich von der Nützlichkeit physikalischer Kenntnisse überzeugen.
- Z 4 Sie sollen für die *Gefahren des Straßenverkehrs* sensibilisiert werden, sich selbst und ihr eigenes Verhalten als Verkehrsteilnehmer reflektieren, sich Fehleinschätzungen bewusst machen und Konsequenzen für zukünftige Handlungen ziehen.

Hauptziel der Evaluation ist es, zu überprüfen, ob und inwieweit die genannten Ziele in der exemplarisch durchgeführten Unterrichtsreihe erreicht wurden.

4.1.1.2 Formulierung der Arbeitshypothesen

Um die Erreichung der in Abschnitt 4.1.1.1 genannten Ziele zu überprüfen, werden sie als nächstes in hypothetische Aussagen überführt, welche die folgenden Bedingungen erfüllen sollen:

- Die Hypothesen treffen Aussagen über operationalisierbare Merkmale von Schülern.
- Sie machen vergleichende Vorhersagen über die Ausprägung dieser Merkmale bei verschiedenen Schülern oder zu verschiedenen Zeitpunkten.

Die zweite Bedingung lässt sich insbesondere auf zwei Arten erfüllen:

- Entweder wird die Schülergruppe, welche an der Unterrichtsreihe teilnimmt, einmal vor und einmal nach dem Treatment der gleichen Messung unterzogen. Es kann dann verglichen werden, ob sich eine Änderung der Ausprägung der gemessenen Merkmale in der angestrebten Weise ergibt.
- Oder er wird eine Vergleichsgruppe herangezogen, die in möglichst vielen Eigenschaften mit der ersten Gruppe übereinstimmt, aber nicht an dem Treatment teilnimmt. Es kann dann die Merkmalsausprägung bei den Schülern der beiden Gruppen verglichen werden.

Im vorliegenden Fall erscheint die zweite Möglichkeit geeigneter zu sein, da der Anspruch besteht, mit dem Einsatz der Lernsoftware und des Unterrichtskonzeptes die genannten Ziele besser zu erreichen, als mit den traditionellen Mitteln des Physikunterrichts. Daher werden in den nun folgenden Arbeitshypothesen vergleichende Aussagen über Schüler getroffen, welche auf die hier beschriebene Weise unterrichtet wurden, und solchen, die in der gleichen Jahrgangsstufe das gleiche physikalische Thema auf traditionelle Weise bearbeitet haben:

„Die Schüler der Gruppe MV, die an der in Abschnitt 3.3 vorgestellten Unterrichtsreihe teilgenommen und dabei mit der Simulations- und Modellbildungssoftware „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5 gearbeitet haben,

(Physikalische Grundlagen)

- H1 reproduzieren die grundlegenden physikalischen Definitionen und Zusammenhänge mindestens genau so gut,
- H2 haben weniger Schwierigkeiten beim Transfer zwischen verschiedenen Codierungen - verbale Beschreibung, Darstellung im Diagramm, mathematische Formel - desselben physikalischen Sachverhaltes,

(Modelle und Systeme)

- H3 können Bedeutung und Beziehungen physikalischer Größen innerhalb eines Systems besser erkennen und sind sich des hypothetischen Charakters physikalischer Erkenntnisse besser bewusst,

(Lebensweltbezug)

- H4 sind besser in der Lage, physikalische Kenntnisse zur Lösung lebensweltlicher Probleme - insbesondere aus dem Straßenverkehr - anzuwenden,

(Gefahrenkognition)

- H5 schätzen die Gefährlichkeit bestimmter Verhaltensweisen im Straßenverkehr - insbesondere des Fahrens mit hoher Geschwindigkeit - realistischer ein und unterliegen seltener Kontrollillusionen,

als die Schüler der Vergleichsgruppe VG, die mit konventionellen Methoden und Medien und ohne den expliziten Bezug zum Kontext Straßenverkehr das Thema ‚geradlinige Bewegungen‘ im Unterricht behandelt haben.“

4.1.1.3 Weitere vermutete Zusammenhänge

Die aufgestellten Hypothesen machen zunächst nur Aussagen über das Erreichen der formulierten Ziele durch die Schüler, welche an der Maßnahme teilgenommen haben, gegenüber Schülern, die nicht daran teilgenommen haben. Darüber hinaus ist zu vermuten, dass das Erreichen der Ziele außerdem von weiteren Faktoren abhängt, die nicht unmittelbar mit Software oder Unterrichtreihe in Verbindung stehen.

Insbesondere liegt die Vermutung nahe, dass individuelle Merkmale der Persönlichkeiten und Lebenssituationen der Schüler eine wichtige Rolle spielen könnten. Eine Auswahl möglicherweise relevanter Merkmale ist daher in der Studie ebenfalls zu erfassen und in der Auswertung auf mögliche Zusammenhänge zu untersuchen. Zu diesen Merkmalen gehören unter anderem

- das Alter und Geschlecht des Schülers,
- die Schulform, der angestrebte Schulabschluss und das Berufsziel,
- das Interesse für physikalische oder technische Phänomene und Fragestellungen,
- das Interesse für Computer und die Art der Computernutzung,
- die Einstellung zu Kraftfahrzeugen und der Fahrtätigkeit, sowie
- der Besitz eines Führerscheins und der Zugriff auf ein Kraftfahrzeug.

4.1.2 Entwurf des Fragebogens

4.1.2.1 Allgemeines zur Konzeption

Die Datenerhebung wurde durchgeführt in Form eines Fragebogens, welcher von den Schülern etwa 4 bis 6 Wochen nach Abschluss der Unterrichtsreihe beantwortet wurde. Die Schüler hatten für die Bearbeitung 45 min Zeit und durften dem Lehrer, welcher währenddessen anwesend war, keine inhaltlichen Fragen stellen.

Die Eintragung des eigenen Namens auf dem Fragebogen war freigestellt, in jedem Fall wurde den Schülern aber eine anonyme Behandlung der Angaben zugesichert. Insbesondere wurde sichergestellt, dass der Fachlehrer keinen Einblick in personenspezifische Daten nimmt und die Ergebnisse nicht zur Leistungsbewertung heranzieht.

Neben der Schülergruppe, welche an der vom Autor entwickelten und durchgeführten Unterrichtsreihe teilgenommen hatte (von nun an mit „MV“ bezeichnet), wurde etwa im gleichen Zeitraum eine Vergleichsgruppe befragt (mit „VG“ abgekürzt). Die Schüler der Vergleichsgruppe haben zuvor zeitlich parallel ebenfalls an einer Unterrichtsreihe zu geradlinigen Bewegungen teilgenommen, jedoch ohne dass der Lehrer Kenntnis über das hier vorgestellte Unterrichtskonzept oder die Lernsoftware gehabt hätte.

4.1.2.2 Gestaltung des Fragebogens

a) Gliederung der Fragen

Der Fragebogen besteht aus insgesamt 48 Hauptfragen, die sich in 136 Teilfragen unterteilen lassen. Er ist gegliedert in 4 Kapitel, welche den thematischen Bereichen entsprechen, und diese wiederum in insgesamt 10 Abschnitte, die das Thema doch einmal konkretisieren. Eine Übersicht über die Kapitel und Abschnitte sowie die jeweilige Anzahl von Haupt- und Teilfragen ist aus Tabelle 12 zu entnehmen.

Kapitel	Abschnitt	Fragen	Teile
I Allgemeine Angaben	A Zeitpunkt der Erhebung	1	1
	B Fragen zur Person	3	3
	C Fragen zur Lerngruppe	8	8
II Einschätzungen und Fakten zur eigenen Person	A Voraussetzungen zur Teilnahme am Straßenverkehr	4	7
	B Persönliche Interessen und Einschätzungen	3	18
III Physikalische Grundlagen	A Einfache geradlinige Bewegungen	10	23
	B Modelle und Systeme	3	6
IV Probleme aus dem Straßenverkehr	A Physikalische Probleme	8	20
	B Gefahren im Straßenverkehr	5	29
	C Reflexion der Unterrichtsreihe	3	21
Gesamt		48	136

Tabelle 12: Gliederung des Fragebogens. In der linken Spalte sind die Kapitel, in der zweiten die Abschnitte, jeweils mit ihren Überschriften aufgelistet. In der dritten Spalte ist die Anzahl der Hauptfragen zu den einzelnen Abschnitten angegeben, in der vierten die Anzahl der Teilfragen,

Hinter dieser geschachtelten Struktur steht die Absicht, die Zuordnung der einzelnen Fragen zu den übergeordneten Zielen und Hypothesen zu erleichtern. Tatsächlich wird bei der Auswertung in einigen begründeten Fällen aber von der nahe liegenden Zuordnung abgewichen.

b) Wahl der Messniveaus

Bei den meisten Fragen stehen zur Beantwortung mehrere Möglichkeiten zur Auswahl, von denen eine angekreuzt werden soll („Multiple Choice“), daneben gibt es einige wenige Freitextaufgaben. Freitexte bieten den Schülern zwar mehr Spielraum für kreative Antworten, können bei der Auswertung aber Probleme verursachen, da die Bewertung oder Gruppierung der Antworten teilweise schwer objektivierbar ist.

Unter den Mehrfachwahlaufgaben sind nominale und ordinale Messniveaus vertreten. Gibt es auf eine Frage nur eine richtige Antwort, wird eine Bewertung vorgenommen, indem für richtige Antworten 1 Punkt, für falsche oder fehlende Antworten 0 Punkte vergeben werden, wodurch sich das Messniveau teilweise ändert.

Insgesamt sind die Messniveaus wie folgt verteilt:

- Freitext / Datum: 19 Fragen - davon 08 Fragen (mit 1 oder 0 Punkten) bewertet
 - Nominalskalen: 49 Fragen - davon 41 Fragen (mit 1 oder 0 Punkten) bewertet
 - Ordinalskalen: 68 Fragen
-
- 136 Fragen

Werden Einschätzungen oder Einstellungen erfasst, werden immer Ordinalskalen von 1 bis 6 verwendet. Die gerade Anzahl von Antwortmöglichkeiten (üblicher sind Skalen von 1 bis 5) soll verhindern, dass die Probanden im Zweifel immer den mittleren Wert angeben. So soll eine stärkere Auseinandersetzung mit den Fragen zu forciert und die Umwandlung in Binärskalen für 4-Felder-Tafeln zu vereinfacht werden.

In der Fragenübersicht in Abschnitt 4.2.2 ist zu jeder einzelnen Frage das Messniveau aufgeführt, bei bewerteten Fragen jeweils unter Angabe der richtigen Lösung. Der komplette Fragenbogen im Original-Layout ist im Anhang unter 5.2.2.2 vollständig abgedruckt.

4.1.3 Durchführung der Studie**4.1.3.1 Rahmenbedingungen und Datenbasis****a) Beteiligte Schulen und Kurse**

Wie bereits in Abschnitt 3.3.1.1 dargelegt, haben an der Unterrichtreihe, die in Abschnitt 3.3 vorgestellt wurde, insgesamt 135 Schüler aus 7 Grundkursen Physik der Jahrgangsstufe 11 an 4 verschiedenen Schulen mit 3 Schulformen teilgenommen. Von diesen haben insgesamt 115 Schüler an der Befragung teilgenommen und ihren Fragebogen abgegeben. Diese Schüler bilden nun die Gruppe MV.

Name und Adresse der Schule		Kurs A	Kurs B
Gruppe MV	Gymnasium Luisenschule An den Buchen 36 45470 Mülheim an der Ruhr	GY01A/B Herr Funk / Herr Sbresny <i>26 Bögen erhalten</i>	
	Karl-Zieger-Gymnasium Schulstraße 2-6 45468 Mülheim an der Ruhr	GY02 Herr Müller <i>25 Bögen erhalten</i>	
	Gustav-Heinemann-Gesamtschule Boverstraße 150 45473 Mülheim an der Ruhr	GS01A Herr Steinert <i>11 Bögen erhalten</i>	GS01B Herr Intven <i>15 Bögen erhalten</i>
	Berufskolleg Mülheim Saarn Lehnerstraße 67 45481 Mülheim an der Ruhr	BK01A Frau Zischka <i>16 Bögen erhalten</i>	BK01B Frau Zischka <i>22 Bögen erhalten</i>
Gruppe VG	Städtisches Gymnasium Kalkar Am Bollwerk 16 47546 Kalkar	GY03A Herr Dommen <i>22 Bögen erhalten</i>	GY03B Herr Bierwald <i>17 Bögen erhalten</i>
	Gesamtschule-Mittelkreis Südring 28 47574 Goch	GS02A Herr van gen Hassend <i>21 Bögen erhalten</i>	GS02B Herr Risse <i>16 Bögen erhalten</i>

Tabelle 13: Übersicht über Schulen, Kurse, Kurslehrer und Schüler, welche an der Evaluation nommen haben. Zu den Schulen sind jeweils Name und Adresse genannt. Die Angaben zu den Kursen bestehen jeweils aus der Paketbezeichnung, dem Namen des Kurslehrers und der Anzahl der Fragebögen, die vom Lehrer zurückgegeben wurden. Die Kurse aus der „Gruppe MV“ haben an den Maßnahmen teilgenommen, die „Gruppe VG“ bildet die Vergleichsgruppe.

Hinzu kommen 76 Schüler aus 4 Grundkursen Physik derselben Jahrgangsstufe an 2 Schulen verschiedener Schulformen aus der traditionell beschulten Vergleichsgruppe, die ebenfalls an der Befragung teilgenommen haben. Die Bezeichnungen der Schulen und Kurse, die Namen der Kurslehrer und die Anzahl der teilnehmenden Schüler sind in Tabelle 13 im Überblick zusammengefasst.

b) Zeitlicher Studienverlauf

Die Unterrichtsreihe, die hier zu evaluieren ist, wurde durchgeführt im ersten Halbjahr des Schuljahres 2004 / 2005. Der vom Autor gestaltete Unterricht begann in der Regel unmittelbar, spätestens aber 4 Wochen nach den Sommerferien. Der Zeitbedarf für die einzelnen Module bewegte sich im Rahmen der Angaben in Tabelle 7, die Gesamtdauer der Unterrichtsreihe variierte zusätzlich aufgrund der unterschiedlichen Anzahl von Wochenstunden in den einzelnen Kursen, sowie aufgrund von Unterrichtsausfällen wegen schulischer Rahmentermine. Die Befragung der Schüler wurde jeweils etwa 2 bis 3 Monate nach Abschluss der Unterrichtsreihe durchgeführt.

4.2 Ergebnisse der Studie

4.2.1 Werkzeuge und Methoden

4.2.1.1 Technische Hilfsmittel

a) Erfassung der Rohdaten

Die Erfassung der Rohdaten, also die Übertragung der von den Schülern handschriftlich in die Fragebögen eingetragenen Kreuze und Freitexte in elektronische Datensätze auf dem Computer, erfolgte durch eine wissenschaftliche Hilfskraft. Hierzu stellte der Autor eine eigens hierfür erstellte Datenbank in Microsoft® Access® zur Verfügung, die mit einem speziellen Eingabeformular versehen ist. Die Daten selbst wurden in einer Tabelle abgelegt, deren Spalten den Fragen und deren Zeilen den Datensätzen für die einzelnen Probanden enthalten.

b) Verarbeitung und Auswertung

Für die weitere Bearbeitung kam die Entwicklungsumgebung Microsoft® Visual Basic® 6.0 zum Einsatz. Der Autor erstellte hiermit zwei Programme:

- Das erste dient zur Aufbereitung der Daten. Dazu gehören unter anderem die Bewertung in richtige und falsche Antworten, die individuelle Umwandlung von Messniveaus und die gewichtete Zusammenfassung mehrerer Fragen zu einem Index. Die Ergebnisse der Berechnungen werden jeweils in neue Spalten in der Datenbank eingetragen.
- Das zweite Programm dient zur Auswertung und graphischen Darstellung der Ergebnisse. Das schließt auch die Gruppierung und Filterung der Daten, sowie die Berechnung von Mittelwerten und Standardabweichungen ein. Dieses Programm nimmt keinerlei Änderungen an den Daten in der Datenbank vor.

Es wurde also vollständig auf die Verwendung von Standard-Werkzeugen (wie etwa SPSS®) zur Verarbeitung und Auswertung der Daten verzichtet. Dies hat einerseits den Vorteil, bei der Datenaufbereitung jede beliebige Operation vornehmen zu können, die für sinnvoll gehalten wird, auch wenn dies nicht den Standard-Prozeduren entspricht. Andererseits besteht vollständige Kontrolle über die graphische Darstellung, die genau den eigenen Vorstellungen angepasst werden kann.

4.2.1.2 Darstellungsformen

Die meisten Ergebnisse der Datenanalyse werden in speziellen Diagrammen graphisch dargestellt. Die hierzu gewählten Darstellungsformen entsprechen in einigen Aspekten den üblichen Diagrammen, weisen aber auch einige Besonderheiten auf. Ziel der selbst erdachten oder modifizierten Darstellungen ist es, möglichst viele der interessanten In-

formationen auf möglichst anschauliche und übersichtliche Weise dem Leser zugänglich zu machen. Die wichtigsten verwendete Diagrammtypen werden in diesem Abschnitt vorgestellt und erläutert.

Die verwendeten graphischen Darstellungen lassen sich grob in zwei Kategorien einteilen: Die einen stellen Verteilungen von Merkmalen und - bei geeignetem Messniveau - Mittelwerte und Standardabweichungen dar (siehe Abschnitt 4.2.1.3a), die anderen dienen zu graphischen Aufbereitung der Ergebnisse von χ^2 -Unabhängigkeitstests (siehe Abschnitt 4.2.1.3b).

a) Verteilungen und Mittelwerte

Es sei zunächst das folgende Diagramm vorgestellt:

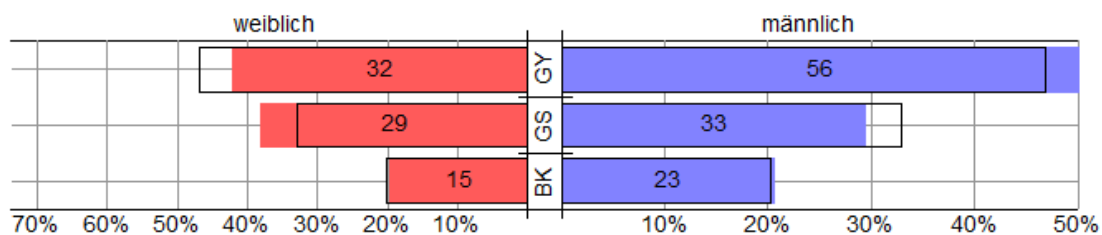


Abbildung 143: Darstellung 1. Das hier dargestellte Hauptmerkmal ist die Zugehörigkeit zu einer Schulform (BK = Berufskolleg, GS = Gesamtschule, GY = Gymnasium). Die Schüler sind außerdem aufgrund des Nebenmerkmals „Geschlecht“ in zwei Teilgruppen (männlich und weiblich) aufgeteilt, die nach links (rot) und rechts (blau) aufgetragen sind. Die Längen der farbigen Balken zeigen die tatsächliche (absolute) Anzahl der Merkmalsträger an, die Längen der nicht ausgefüllten Balken stehen für die erwartete (absolute) Anzahl bei so genannte „statistischer Unabhängigkeit“ von Haupt- und Nebenmerkmal. Die zusätzliche Prozentskala gibt den relativen Anteil innerhalb der jeweiligen Nebengruppe an.

Die Darstellungsvariante in Abbildung 143 weist folgende Besonderheiten auf:

- Dargestellt ist die Verteilung zweier Merkmale:
 - Aufgrund des Hauptmerkmals (hier: Schulformzugehörigkeit) erfolgt die Bildung der Kategorien (hier: BK = Berufskolleg, GS = Gesamtschule oder GY = Gymnasium) auf der Mittelachse.
 - Aufgrund des Nebenmerkmals (hier: Geschlecht) werden zusätzlich zwei Gruppen (hier: männlich oder weiblich) gebildet, deren Häufigkeit nach links und rechts aufgetragen ist.
- Die Längen der farbigen Balken geben die Häufigkeiten der einzelnen Werte des Hauptmerkmals als absolute Schülerzahlen an.
- Die Längen der unausgefüllten Balken zeigen an, wie lang die farbigen Balken sein müssten, wenn die Verteilung von dem Nebenmerkmal (männlich/weiblich) „statistisch unabhängig“ wäre. Größere Abweichungen der Längen von farbigen und unausgefüllten Balken deuten also darauf hin, dass die Verteilung sich vermutlich nicht allein durch Zufall erklären lässt.

- An den vertikalen Gitternetzlinien lässt sich der relative Anteil jedes Wertes an Gesamtzahl der Schüler innerhalb einer Nebengruppe ablesen. Bei kleineren Schülerzahlen auf einer Seite weisen die Linien dort eine höhere Dichte auf.

Diese Darstellungsvariante lässt sich um ein weiteres Nebenmerkmal erweitern, wie in Abbildung 144 zu sehen ist. In dem dargestellten Beispiel ist die Zugehörigkeit zu den Gruppen MV oder VG als Hauptmerkmal, das Geschlecht als erstes Nebenmerkmal und die Schulform als zweites Nebenmerkmal dargestellt.

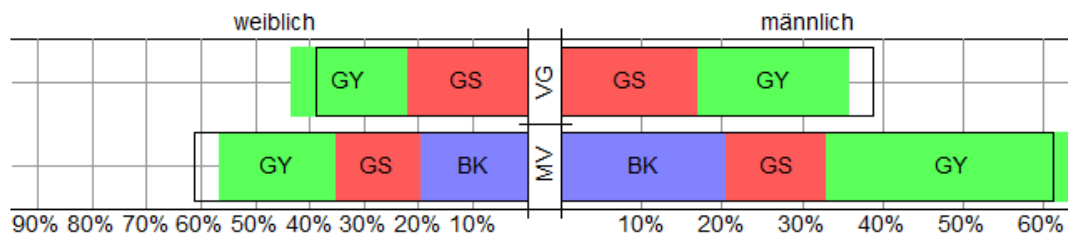


Abbildung 144: Darstellung 2. Als Hauptmerkmal ist die Zugehörigkeit zu den Gruppen MV und VG dargestellt, als (erstes) Nebenmerkmal wieder das Geschlecht. Zusätzlich ist als weiteres Nebenmerkmal die Schulform abzulesen. Hierzu sind die ausgefüllten Balken in Anteile verschiedener Farben eingeteilt, die den Kategorien des zweiten Nebenmerkmals entsprechen.

Die ausgefüllten, farbigen Balken sind in mehrere Anteile verschiedener Farbe eingeteilt. Jede Farbe entspricht einer Kategorie des zweiten Nebenmerkmals.

Bisher wurden nur Merkmale betrachtet, die mit nominalem Messniveau erfasst wurden. Liegt ein (im Sinne von BENNINGHAUS 1982) metrisches Messniveau vor, lassen sich weitere Informationen ermitteln und darstellen:

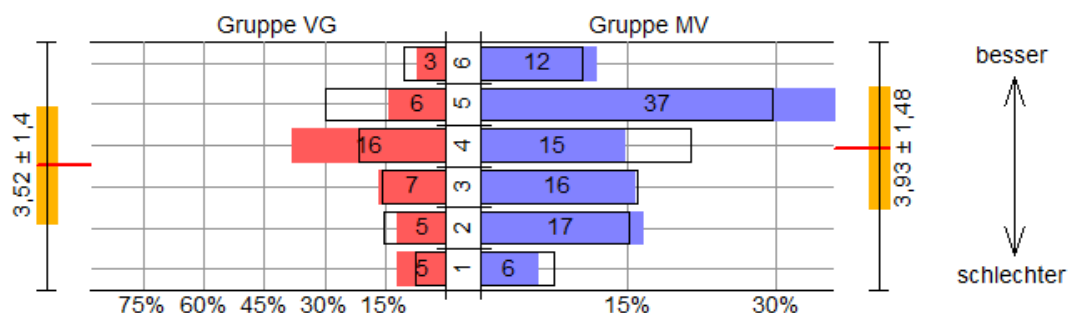


Abbildung 145: Darstellung 3. Als Hauptmerkmal ist die Gesamtbeurteilung der Unterrichtsreihe durch die Schüler auf einer Skala von 1 bis 6 dargestellt, als Nebenmerkmal die Zugehörigkeit zu den Gruppen MV und VG. Zusätzlich ist für jede Nebengruppe das arithmetische Mittel als roter Strich, sowie die Standardabweichung als gelber Balken eingezeichnet. Horizontale Gitternetzlinien sollen das Ablesen der Werte erleichtern. Die Begriffe auf der rechten Seite geben die Bedeutung der Skalenwerte an.

Diese Darstellung weist gegenüber Darstellung 1 die folgenden Erweiterungen auf:

- Das Programm ermittelt das arithmetische Mittel des Hauptgruppenmerkmals für jede der beiden Nebengruppen. Das Ergebnis ist jeweils als roter Strich auf einer Skala aus horizontalen Gitternetzlinien eingezeichnet.
- Außerdem wird die Standardabweichung für beide Nebengruppen bestimmt. Sie wird als gelber Balken auf der gleichen Skala wie der Mittelwert eingezeichnet.

- Handelt es sich um eine Zustimmungs- oder Bewertungsskala, wird außerdem die inhaltliche Bedeutung hoher und niedriger Werte am rechten Rand oberhalb und unterhalb des Doppelpfeils angegeben.

Wie die Werte berechnet werden, wird in Abschnitt 4.2.1.3 erläutert.

Ist die genaue Verteilung der Werte nicht von Interesse und genügt die Information über Mittelwerte und Standardabweichungen, können diese Informationen auch Platz sparender einzeln dargestellt werden, wie in Abbildung 146 zu sehen.

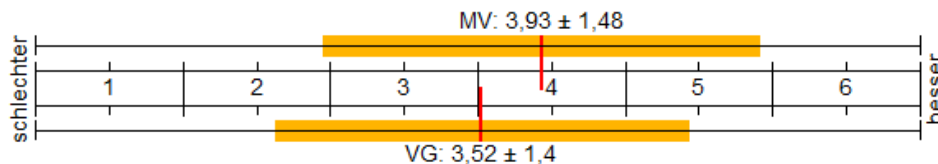


Abbildung 146: Darstellung 4. Die Darstellung entspricht einer verkürzten Variante von Darstellung 3. Es sind nur die Mittelwerte und Standardabweichungen auf einer Skala von 1 bis 6 eingezeichnet.

Die vorgestellten Darstellungsvarianten lassen sich teilweise miteinander kombinieren und hinsichtlich ihrer horizontalen oder vertikalen Ausrichtung natürlich variieren.

b) Prüfung statistischer Zusammenhänge

Anhand der graphischen Darstellungen von Verteilungen und Mittelwerten, welche im vorangegangenen Abschnitt vorgestellt wurden, lassen sich bereits erste Vermutungen über Zusammenhänge zwischen Merkmalen anstellen. Eine solche Vermutung lässt sich mittels geeigneter statistischer Methoden prüfen.

Den in diesem Abschnitt vorgestellten Darstellungen liegt eine bestimmte Variante des χ^2 -Unabhängigkeitstests zugrunde, der in Abschnitt 4.2.1.3 erklärt wird. Abbildung 147 zeigt das Prinzip der Darstellung:

- Es wird eine Tabelle dargestellt, welche die Kategorien eines Merkmals als Spalten (hier: Gesamtbeurteilung der Unterrichtsreihe), die Kategorien des anderen Merkmals als Zeilen (hier: Zugehörigkeit zu den Gruppen MV oder VG) enthält.
- In jeder Zelle ist durch ein grün ausgefülltes Quadrat dargestellt, wie oft die durch Zeile und Spalte festgelegten Werte der beiden gemeinsam auftreten. Die Anzahl ist dabei proportional zur *Fläche* des Quadrates.
- Außerdem wird in jeder Zelle durch ein nicht ausgefülltes Quadrat angezeigt, wie groß das grüne Quadrat sein müsste, wenn kein statistischer Zusammenhang zwischen den Merkmalen besteht. Auch hier ist die Fläche des Quadrates relevant.
- Aus den Abweichungen zwischen erwarteten und tatsächlichen Häufigkeiten von Merkmalskombinationen wird für jede Zelle der Wert χ^2 gebildet (siehe Abschnitt 4.2.1.3b) und als Zahlenwert in das jeweilige Quadrat eingetragen.

- Große Abweichungen ausgefüllter und nicht ausgefüllter Quadrate haben große χ^2 -Werte zur Folge und deuten also auf eine statistische Abhängigkeit hin.
- Zusätzlich sind die Randverteilungen als rote und blaue Balken am rechten und unteren Rand der Tabelle eingezeichnet. Die Längen der Balken entsprechen den relativen Anteilen des jeweiligen Wertes für das Zeilen- oder Spaltenmerkmal an der Gesamtfallzahl. Die absolute Häufigkeit ist innerhalb der Balken als Zahlenwert, die relative Häufigkeit neben oder unterhalb der Balken in % angegeben.

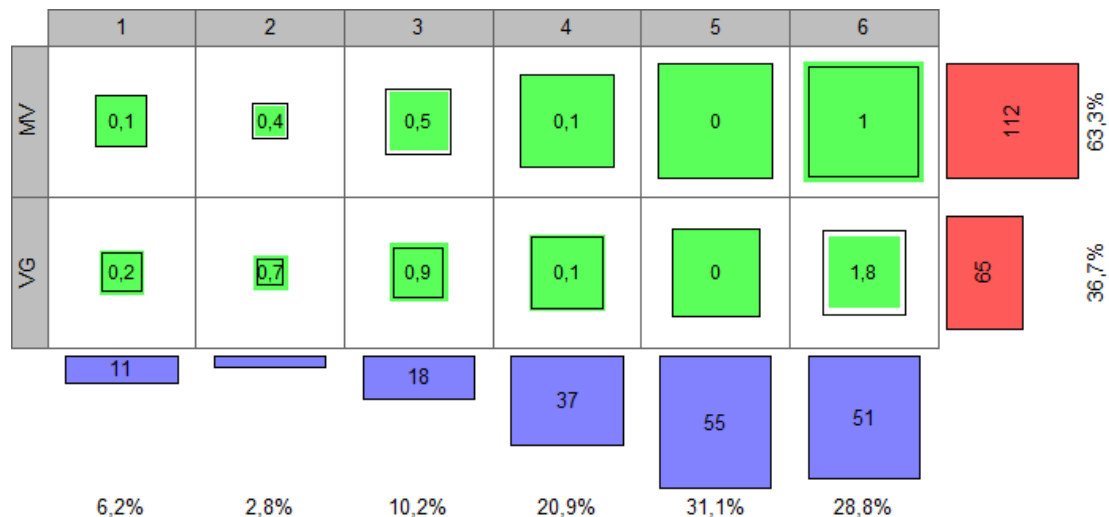


Abbildung 147: Darstellung 5. In dieser Darstellung soll geprüft werden, ob die Gesamteinschätzung (dargestellt in den Spalten) der Unterrichtsreihe in der Gruppe MV besser ist als in der Gruppe VG (dargestellt in den Zeilen). Die roten und blauen Balken geben die so genannten „Randverteilungen“ an, beschriftet mit absoluten Fallzahlen in den Balken und den relativen Anteilen daneben oder darunter. Die Flächen der grünen Quadrate entsprechen der Häufigkeit des gemeinsamen Auftretens der durch Zeile und Spalte festgelegten Werte der beiden Merkmale, die Flächen der unausgefüllten Quadrate geben die entsprechenden Häufigkeiten bei so genannter „statistischer Unabhängigkeit“ an. Die in den Quadraten angegebenen Zahlenwerte entsprechen dem jeweiligen Wert für χ^2 darstellt (siehe hierzu Abschnitt 4.2.1.3b).

Auch diese Darstellung lässt aber noch keinen Schluss über einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Merkmalen zu, da es zu viele Merkmalsausprägungen gibt und dadurch die einzelnen Werte zu klein werden. Die bestehenden Kategorien müssen daher zusammengefasst und so die Zahl der Möglichkeiten reduziert werden.

In Abbildung 148 wurden die Werte für die Gesamteinschätzung der Unterrichtsreihe in nur noch zwei Kategorien zusammengefasst: Die Werte von 1 bis 3 und die Werte von 4 bis 6. Auf diese Weise ist ein Spezialfall der Darstellung 5 entstanden, die so genannte *Vierfeldertafel*.

Hier ist nun eine Tendenz zu erkennen: Die Schüler der Gruppe MV vergeben bei der Gesamtbeurteilung der Unterrichtsreihe häufiger hohe Werte als die Schüler der Vergleichsgruppe. Um die Vermutung des Vorliegens eines Zusammenhangs zwischen den Merkmalen zu prüfen, sind zusätzlich am rechten unteren Rand zwei Zahlenwerte angegeben.

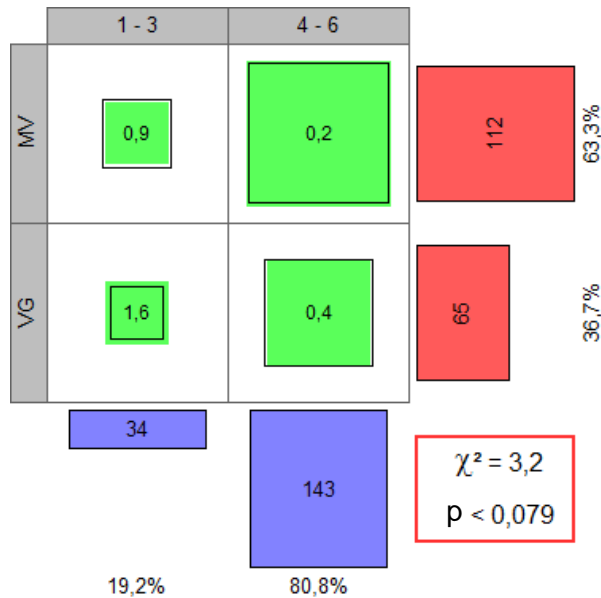


Abbildung 148: Darstellung 6. Durch Zusammenfassung von Merkmalsausprägungen zu Gruppen wurde die Zahl der möglichen Kombinationen gegenüber Darstellung 5 reduziert. Unten rechts sind außerdem der Summenwert für χ^2 und die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers erster Art als p-Wert angegeben. Ist der p-Wert kleiner als das vorher festgelegte Signifikanzniveau α , darf angenommen werden, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Merkmalen besteht. Bei einem üblichen Signifikanzniveau von 0,05 liegt im abgebildeten Fall also kein signifikanter Zusammenhang vor.

Der Wert χ^2 entspricht der Summe der einzelnen χ^2 -Werte aus den Quadraten, der p-Wert gibt die Wahrscheinlichkeit an, einen Fehler erster Art zu begehen. Im vorliegenden Fall besteht kein signifikanter Zusammenhang. Wie beide Werte berechnet werden und wie sie zu interpretieren sind, wird im folgenden Abschnitt erläutert.

4.2.1.3 Statische Methoden

a) Mittelwert und Standardabweichung

Wie in Abschnitt 4.2.1.1 erklärt wurde, werden alle Berechnungen durch vom Autor erstellte Programme durchgeführt. Dies gilt auch für die Mittelwerte und Abweichungen. Der arithmetische Mittelwert wird von der Software nach der Formel

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

berechnet, wobei N die Gesamtzahl der Messwerte einer Gruppe ist. Nach Kenntnis des arithmetischen Mittels wird die Standardabweichung berechnet mit der Formel:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_N - \bar{x})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

Beide Formeln sind entnommen aus BENNINGHAUS 1982, sind aber auch in jeder anderen Standardliteratur zur statistischen Auswertung empirischer Daten zu finden.

Das arithmetische Mittel gibt den „zentralen Trend“ einer Verteilung an, abstrahiert dabei aber von der konkreten Form der Verteilung. Die Standardabweichung ist ein Maß für die Streuung der Messwerte - je kleiner sie ist, desto enger liegen die Messwerte beieinander.

b) Der χ^2 -Unabhängigkeitstest

Wird aufgrund des zentralen Trends oder der graphischen Darstellung der Verteilung vermutet, dass zwei Merkmale voneinander abhängig sind, muss dies mit einem statistischen Verfahren geprüft werden. Hier gibt es eine Fülle verschiedener Methoden für verschiedene Anwendungsbereiche mit spezifischen Vor- und Nachteilen. Das Verfahren, das hier zur Anwendung kommt, ist eine Variante des χ^2 -Unabhängigkeitstests. Hierzu wird wie folgt vorgegangen (siehe auch hierzu BENNINGHAUS 1982):

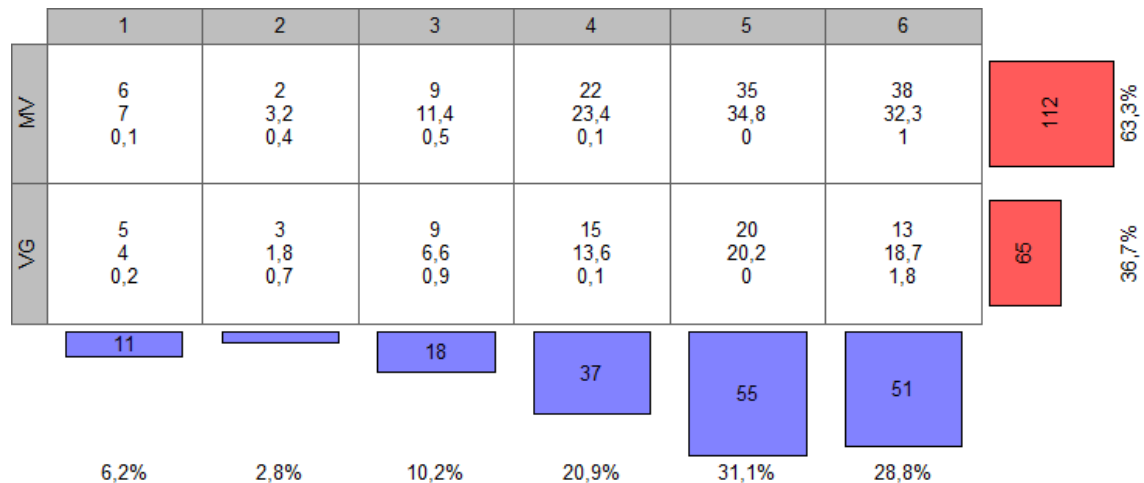


Abbildung 149: Zahlenwerte zu Darstellung 5. Jeweils der erste Wert einer Zelle entspricht der tatsächlichen (kontingenten) Häufigkeit des gemeinsamen Auftretens zweier Merkmalsausprägungen, der zweite der theoretischen Häufigkeit bei so genannter „statistischer Unabhängigkeit“ und der dritte Wert dem χ^2 , das ein Maß für die Abhängigkeit der Merkmale ist.

- Zunächst wird eine Tabelle erstellt, in der wie in Abbildung 155 die Kategorien des einen Merkmals in den Zeilen z , die des anderen Merkmals in den Spalten s dargestellt werden.
- Dann wird in jede Zelle eingetragen, wie oft die durch Zeile z und Spalte s festgelegten Werte der beiden Merkmale gemeinsam auftreten. Die Werte werden mit $f_k(z, s)$ bezeichnet. Man spricht auch von einer *Kontingenztafel*. Diese Werte sind in Abbildung 149 jeweils als erstes notiert.
- Dann werden die so genannten *Randverteilungen* ermittelt, indem jeweils die Werte der einzelnen Zeilen und der einzelnen Spalten aufsummiert und an den Rand geschrieben werden. Sie werden mit $n(z, g)$ und $n(g, s)$ bezeichnet.
- Aus den Randverteilungen wird dann für jede Zelle der Wert ermittelt, der bei so genannter „statistischer Unabhängigkeit“ der Merkmale zu erwarten wäre und so eine *Indifferenztabelle* erstellt. Dies geschieht nach der Rechenvorschrift:

$$f_i(z, s) = \frac{n(z, g) \cdot n(g, s)}{N}$$

Diese Werte sind in Abbildung 149 jeweils an zweiter Stelle eingetragen.

- Schließlich wird aus den Werten der Kontingenztabelle und den Werten der Indifferenztabelle für jede Zelle der Wert χ^2 gebildet, und zwar nach folgender Formel:

$$\chi^2(z, s) = \sum_z \sum_s \frac{(f_k(z, s) \cdot f_i(z, s))^2}{f_i(z, s)}$$

Diese Werte sind in Abbildung 149 jeweils an letzter Stelle notiert.

- Die so ermittelten Werte für χ^2 werden aufsummiert. Das Ergebnis ist der Wert, welcher in der Darstellung 6 (vergleiche Abbildung 148) rechts unten notiert ist.

Der so ermittelte Wert für χ^2 ist ein so genanntes *Assoziationsmaß*, also (vereinfacht ausgedrückt) ein Maß dafür, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, einen Fehler erster Art zu begehen. Dies ist wie folgt zu verstehen:

- Die statistische Methode soll die Entscheidung zwischen zwei dichotomen Hypothesen H_0 und H_1 ermöglichen:

H_0 : Zwischen den Merkmalen besteht kein statistischer Zusammenhang.

(Nullhypothese)

H_1 : Die Nullhypothese gilt nicht.

(Alternativhypothese)

Trifft die Nullhypothese H_0 zu, sind die Häufigkeitsverteilungen zufällig.

- Trifft man eine Entscheidung für die eine oder andere Hypothese, so gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten, einen Fehler zu begehen:
 - Fehler *erster* Art:
Die Nullhypothese H_0 wird nicht beibehalten, obwohl sie richtig ist.
 - Fehler *zweiter* Art:
Die Nullhypothese H_0 wird beibehalten, obwohl sie falsch ist.
- Welcher Fehler kritischer ist, hängt vom Inhalt der Fragestellung ab. Im vorliegenden Fall ist ein Fehler erster Art kritischer, da ein Zusammenhang behauptet würde, der gar nicht existiert. Die Wahrscheinlichkeit, einen solchen Fehler zu begehen, wird im Folgenden mit p bezeichnet.
- Anhand des p -Wertes kann eine Entscheidung getroffen werden, ob die Nullhypothese beibehalten wird oder nicht. Hierzu wird vorher das so genannte *Signifikanzniveau* α festgelegt: Ist $p > \alpha$, wird die Nullhypothese beibehalten. Ist $p \leq \alpha$, wird die Nullhypothese nicht beibehalten.
- Üblicherweise wird das Signifikanzniveau auf $\alpha = 0,05$ festgelegt. Die Nullhypothese wird also *nicht* angenommen, wenn die Wahrscheinlichkeit, einen Fehler erster Art zu begehen, kleiner als 5 % ist. Dies lässt dies jedoch keinen Rückschluss darüber zu, ob die ursprünglich aufgestellte Arbeitshypothese gültig ist. Eine solche inhaltliche Feststellung ist mittels statistischer Verfahren prinzipiell nicht möglich.

- Nun liegt aber nach der Durchführung des χ^2 -Test nicht p, sondern das Assoziationsmaß χ^2 vor. Um für ein gegebenes α den Grenzwert für χ^2 zu ermitteln, bei dessen Überschreitung die Nullhypothese nicht beibehalten wird, kann auf Tabellen aus der einschlägigen Literatur zurückgegriffen werden (wie etwa Tabelle 14). Um dort den entsprechenden Wert ablesen zu können, muss zuvor aus der Anzahl der Zeilen (z) und Spalten (s) der Freiheitsgrad⁴⁷ f berechnet werden:

$$f = (z - 1) \cdot (s - 1)$$

- Durch logarithmische Interpolation lassen sich außerdem Zwischenwerte zu den Werten in der Tabelle bestimmen, sodass bei vorliegendem χ^2 auch die „exakte Wahrscheinlichkeit“ p bestimmt werden kann, einen Fehler erster Art zu begehen.

		Signifikanzniveau (1 - α)											
		0,005	0,010	0,025	0,050	0,100	0,500	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995	0,999
Freiheitsgrad f	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,45	2,71	3,84	5,02	6,63	7,88	10,83
	2	0,01	0,02	0,05	0,10	0,21	1,39	4,61	5,99	7,38	9,21	10,60	13,82
	3	0,07	0,11	0,22	0,35	0,58	2,37	6,25	7,81	9,35	11,34	12,84	16,27
	4	0,21	0,30	0,48	0,71	1,06	3,36	7,78	9,49	11,14	13,28	14,86	18,47
	5	0,41	0,55	0,83	1,15	1,61	4,35	9,24	11,07	12,83	15,09	16,75	20,52
	6	0,68	0,87	1,24	1,64	2,20	5,35	10,64	12,59	14,45	16,81	18,55	22,46
	7	0,99	1,24	1,69	2,17	2,83	6,35	12,02	14,07	16,01	18,48	20,28	24,32
	8	1,34	1,65	2,18	2,73	3,49	7,34	13,36	15,51	17,53	20,09	21,95	26,12
	9	1,73	2,09	2,70	3,33	4,17	8,34	14,68	16,92	19,02	21,67	23,59	27,88
	10	2,16	2,56	3,25	3,94	4,87	9,34	15,99	18,31	20,48	23,21	25,19	29,59
	11	2,60	3,05	3,82	4,57	5,58	10,34	17,28	19,68	21,92	24,73	26,76	31,26
	12	3,07	3,57	4,40	5,23	6,30	11,34	18,55	21,03	23,34	26,22	28,30	32,91
	13	3,57	4,11	5,01	5,89	7,04	12,34	19,81	22,36	24,74	27,69	29,82	34,53
	14	4,07	4,66	5,63	6,57	7,79	13,34	21,06	23,68	26,12	29,14	31,32	36,12
	15	4,60	5,23	6,26	7,26	8,55	14,34	22,31	25,00	27,49	30,58	32,80	37,70

Tabelle 14: Grenzwerte für χ^2 in Abhängigkeit vom Freiheitsgrad f und vom Signifikanzniveau (1 - α).
Die Tabellenwerte wurden entnommen aus KREYSZIG 1982, Seite 432, Tafel 6.

In der Regel wird die Zahl der Freiheitsgrade vor der Anwendung der χ^2 -Tests durch Gruppierung von Antwortmöglichkeiten reduziert. Einen Spezialfall stellt die so genannte „Vierfeldertafel“ dar. Sie besteht aus 2 Zeilen und 2 Spalten und besitzt daher genau 1 Freiheitsgrad. Die Vierfeldertafel benötigt für beide auf ihren Zusammenhang zu prüfenden Merkmale nur ein binäres Messniveau, welches von jeder Skala aus erreichbar ist. Außerdem sind die χ^2 -Werte, die auf diese Weise ermittelt wurden, unmittelbar vergleichbar und haben dadurch einen besonders hohen Aussagewert. Die Vierfeldertafeln kommen daher auch in den nachfolgenden Abschnitten bevorzugt zur Anwendung.

⁴⁷ Der Begriff des Freiheitsgrades in der deskriptiven Statistik hat nichts mit dem physikalischen Begriff des Freiheitsgrades zu tun und sollte nicht verwechselt werden.

4.2.2 Einzelergebnisse

Im Folgenden werden die Antworten der Schüler auf die einzelnen Fragen des Fragebogens im Überblick dargestellt und einer ersten Grobauswertung unterzogen.

Hierzu werden die Einzelfragen aufgelistet und jeweils das Messniveau, gegebenenfalls die Anzahl der Antwortmöglichkeiten und die richtige Lösung angegeben. Zusätzliche Materialien (Diagramme, Formeln, Zeichnungen) sowie die angebotenen Antwortfelder werden nicht dargestellt, nicht auswertbare Fragen werden teilweise weggelassen - diese Angaben können dem Originalfragebogen unter 5.2.2.2 entnommen werden.

Zu jeder Frage ist das Messniveau angegeben, sowie (bei bewerteten Fragen) die richtige Lösung. Zur besseren Übersicht sind die Fragen jeweils dunkelgrau unterlegt, die zusätzlichen Informationen etwas heller. Danach wird jeweils auf geeignete Weise ein Überblick über die Verteilung der vorliegenden Antworten zu der entsprechenden Frage gegeben, je nach Art der Frage nach verschiedenen Merkmalen gruppiert. Die Überprüfung der Arbeitshypothesen wird in Abschnitt 4.2.3 durchgeführt.

4.2.2.1 Fragen zur Person (I B)

In diesem Teil des Fragebogens (Anhang 5.2.2.2 Seite 397) werden einige allgemeine Charakteristika der einzelnen Probanden erfragt. Diese dienen insbesondere zur Gruppierung bei der Auswertung der Daten aus den nachfolgenden Bereichen.

Frage 1:

Name (kann durch Kennwort ersetzt werden)

Diese Frage dient zur Identifikation einzelner Probanden bei möglichen Folgestudien.

Frage 2:

Alter

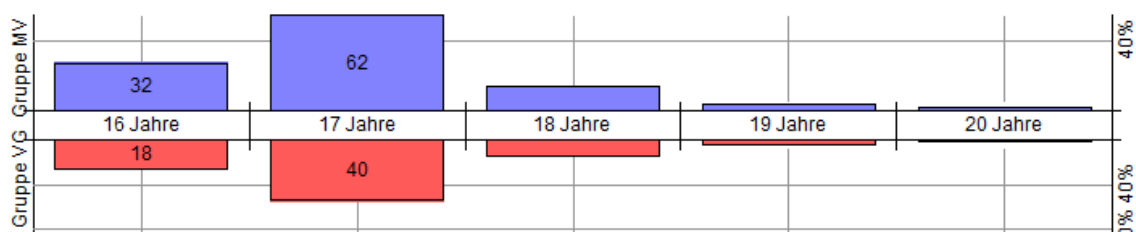


Abbildung 150: Antworten auf die Frage I B 2: Altersverteilung der Schüler nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 3:

Geschlecht

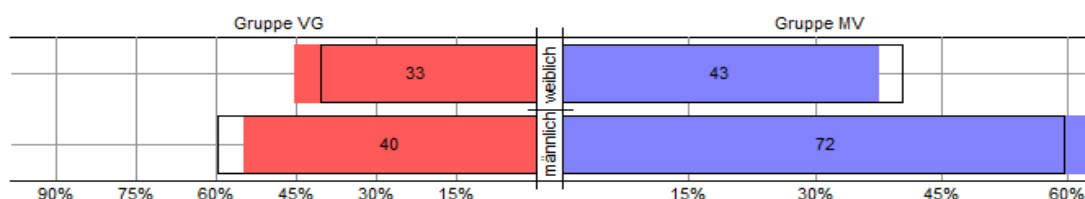


Abbildung 151: Antworten auf die Frage I B 3: Verteilung der Geschlechter auf die Gruppen MV und VG.

4.2.2.2 Fragen zur Lerngruppe (I C)

Dieser Bereich (Anhang 5.2.2.2 Seite 397) dient zur Erfassung der Charakteristika der einzelnen Lerngruppen. Die meisten der Antworten sind in **Tabelle 13** eingeflossen.

Frage 1:

Schulform

6 Antwortmöglichkeiten

Antworten dargestellt in **Tabelle 13**.

Frage 2:

Name der Schule / des Betriebes

Freitext

Antworten dargestellt in **Tabelle 13**.

Frage 3:

Angestrebter Bildungsabschluss

6 Antwortmöglichkeiten

Bis auf drei Ausnahmen streben alle Schüler das Abitur an.

Frage 4:

Angestrebter Beruf

Freitext

Frage nicht ausgewertet.

Frage 5:

Jahrgangsstufe / Lehrjahr

8 Antwortmöglichkeiten

Alle teilnehmenden Schüler sind in der Jahrgangsstufe 11.

Frage 6:

Art und Bezeichnung des Kurses

Freitext

Alle teilnehmenden Kurse sind Grundkurse im Fach Physik.

Frage 7:

Name der Kurslehrerin / des Kurslehrers

Freitext

Antworten dargestellt in **Tabelle 13**.

Frage 8:

Wurden Probleme aus dem Straßenverkehr im Unterricht thematisiert?

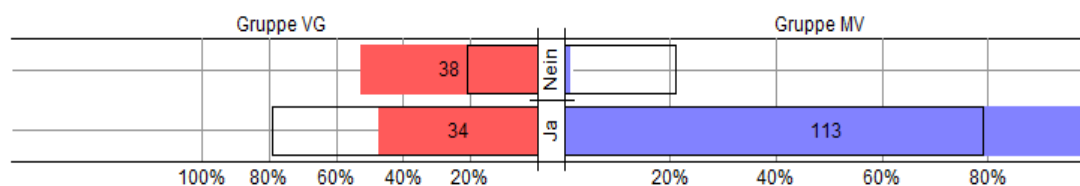


Abbildung 152: Antworten auf die Frage I C 8 nach Gruppenzugehörigkeit.

4.2.2.3 Voraussetzungen zur Teilnahme am Straßenverkehr (II A)

In diesem Bereich (Anhang 5.2.2.2 Seite 398) werden individuelle Merkmale der Schüler erfasst, die Aufschluss darüber geben können, auf welche Weise sie im Zeitraum der Befragung am Straßenverkehr teilgenommen haben.

Frage 1:

Besitzen Sie einen Führerschein oder sind Sie zurzeit in der Fahrschulausbildung?

4 Antwortmöglichkeiten

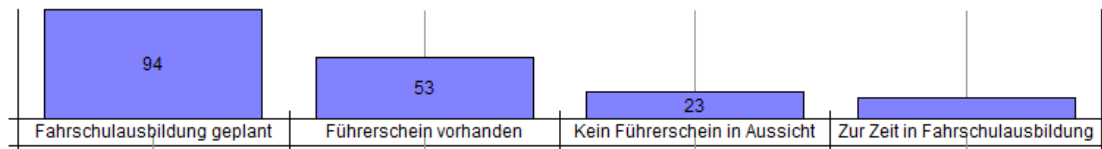


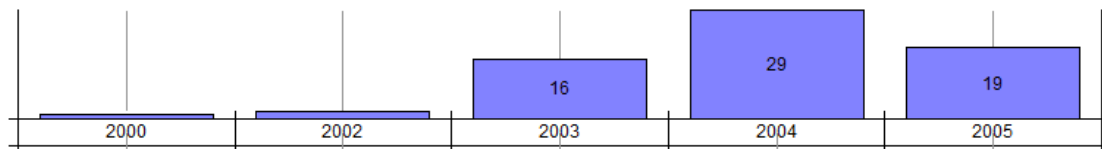
Abbildung 153: Antworten auf die Frage II A 1.

Frage 2:

Falls Sie die vorhergehende Frage mit Ja beantwortet haben:

2 Teilfragen (a und b)

a) Seit wann etwa besitzen Sie den Führerschein / sind Sie in der Ausbildung?



b) Für welche Fahrzeugklasse ist der Führerschein gültig?

9 Antwortmöglichkeiten

Antworten: 36-mal Mofa, 30-mal Moped, 12-mal Motorrad und 38-mal PKW.

Frage 3:

Inwieweit haben / hätten Sie Zugriff auf ein Kraftfahrzeug?

4 Antwortmöglichkeiten

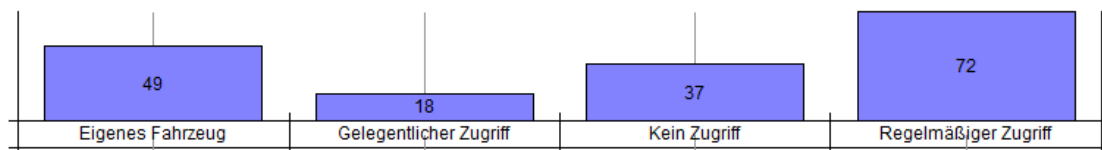


Abbildung 154: Antworten auf die Frage II A 3.

Frage 4:

Falls Sie die vorhergehende Frage mit Ja beantwortet haben:

3 Teilfragen (a bis c, a und b nicht ausgewertet)

c) Baujahr des Fahrzeugs

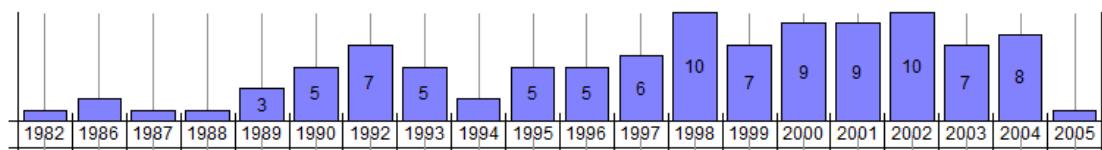


Abbildung 155: Antworten auf die Frage II A 4 c.

4.2.2.4 Persönliche Interessen und Einschätzungen (II B)

In diesem Abschnitt (Anhang 5.2.2.2 Seite 399) geht es einerseits um persönliche Interessen der Schüler in Bezug auf Physik, Technik, Computer und Kraftfahrzeuge, andererseits um die Einschätzung des eigenen Verhaltens und der eigenen Fähigkeiten in Bezug auf Physik und das Führen von Fahrzeugen. Bei diesen Themen sind nach traditionellem Rollenbild starke Bezüge zum Geschlecht der Schüler zu vermuten. Daher sind die Verteilungen der Antworten nach Schülerinnen und Schülern getrennt dargestellt.

Frage 1:

Inwieweit treffen folgende Aussagen über bestimmte private Interessen für Sie persönlich zu?

6 Teilfragen (a bis f)

a) Ich spiele gern Computerspiele oder nehme gelegentlich an LAN-Partys Teil.

Zustimmungsskala, 1 bis 6

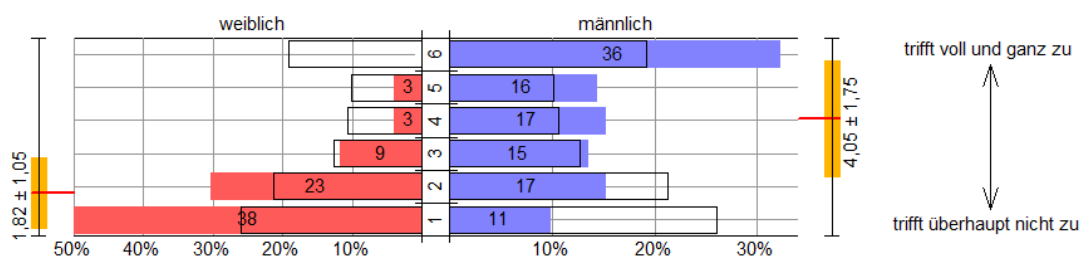


Abbildung 156: Antworten auf Frage II B 1 a in Abhängigkeit vom Geschlecht.

b) Ich interessiere mich für Administration, Webdesign oder Programmierung.

Zustimmungsskala, 1 bis 6

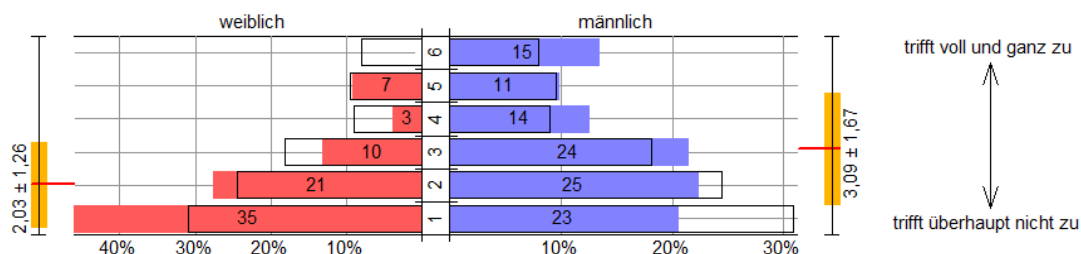


Abbildung 157: Antworten auf Frage II B 1 b in Abhängigkeit vom Geschlecht.

c) Ich nutze Computer für Internet, eMails oder Chats.

Zustimmungsskala, 1 bis 6

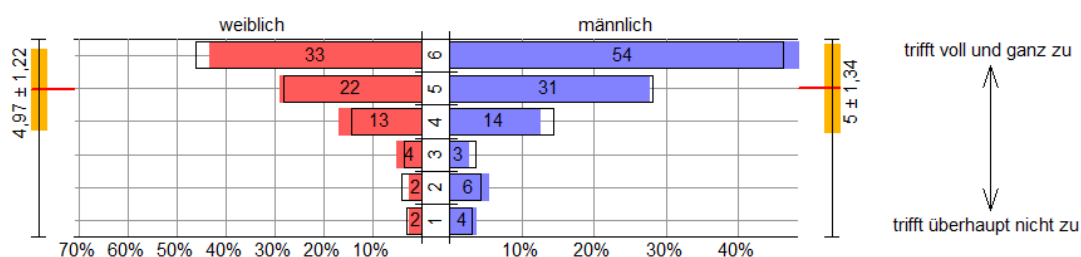


Abbildung 158: Antworten auf Frage II B 1 c in Abhängigkeit vom Geschlecht.

d) Ich kann mich für technische Errungenschaften und Geräte begeistern.

Zustimmungsskala, 1 bis 6

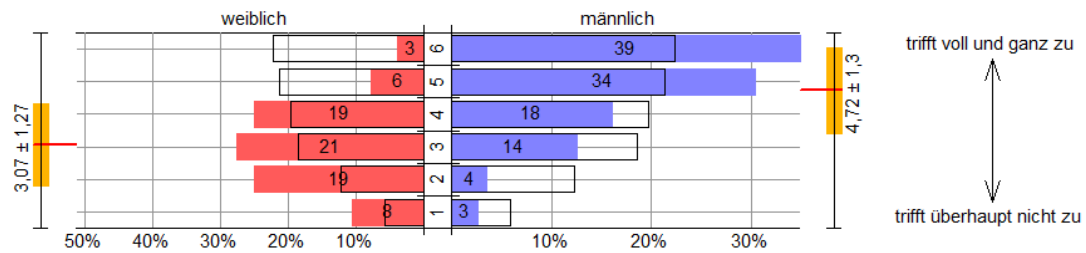


Abbildung 159: Antworten auf Frage II B 1 d in Abhängigkeit vom Geschlecht.

e) Ich interessiere mich für Autos oder Motorräder.

Zustimmungsskala, 1 bis 6

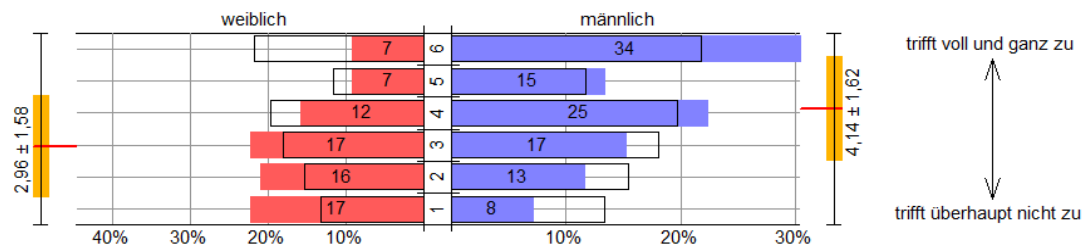


Abbildung 160: Antworten auf Frage II B 1 e in Abhängigkeit vom Geschlecht.

f) Ich nehme selbst technische Änderungen, Reparaturen oder Verschönerungen meines Fahrzeugs vor.

Zustimmungsskala, 1 bis 6

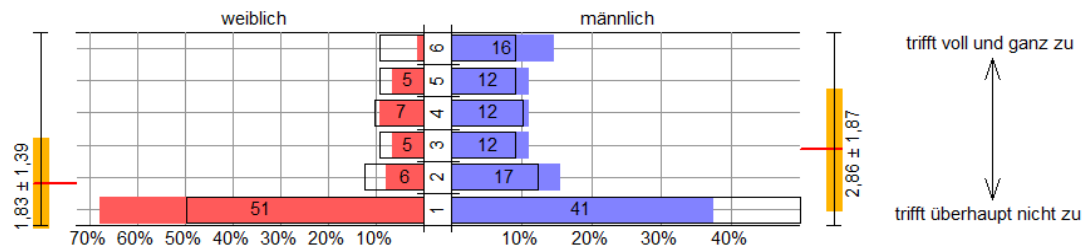


Abbildung 161: Antworten auf Frage II B 1 f in Abhängigkeit vom Geschlecht.

Frage 2:

Inwieweit können Sie den folgenden Aussagen über Physik aufgrund Ihrer bisherigen Erfahrungen in Unterricht und Privatleben zustimmen?

7 Teilfragen (a bis g)

a) Physik ist eine interessante Wissenschaft.

Zustimmungsskala, 1 bis 6

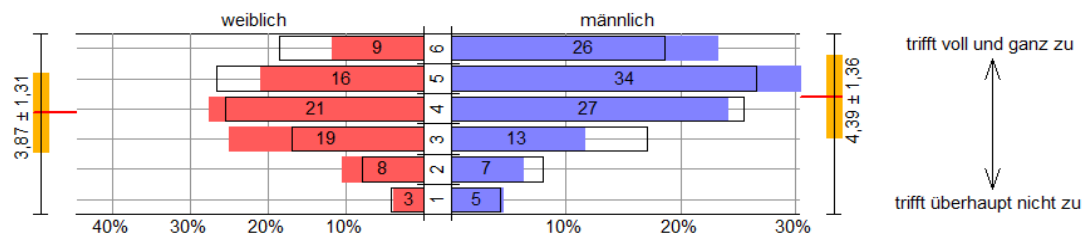


Abbildung 162: Antworten auf Frage II B 2 a in Abhängigkeit vom Geschlecht.

b) Physik besteht hauptsächlich aus mathematischen Formeln.

Zustimmungsskala, 1 bis 6

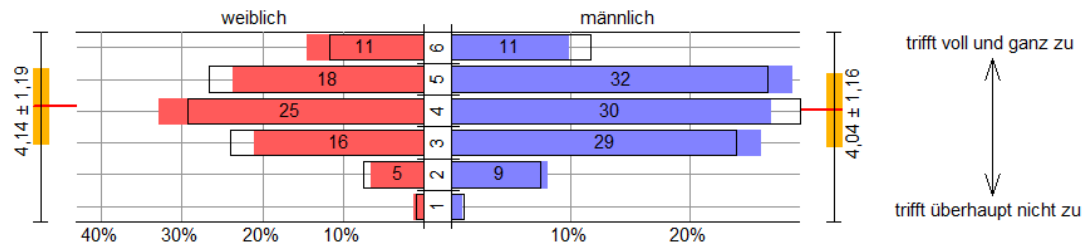


Abbildung 163: Antworten auf Frage II B 2 b in Abhängigkeit vom Geschlecht.

c) Physik ist sehr schwierig und kompliziert.

Zustimmungsskala, 1 bis 6

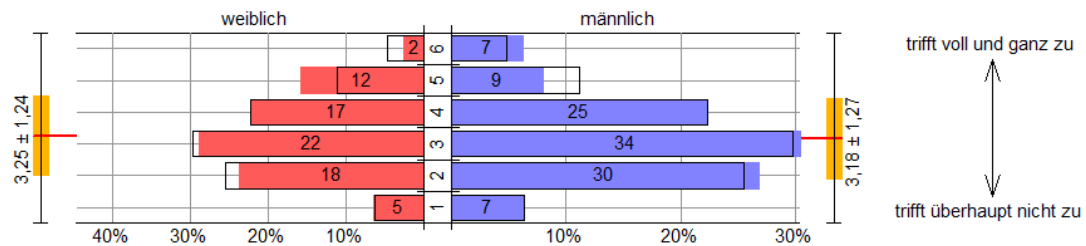


Abbildung 164: Antworten auf Frage II B 2 c in Abhängigkeit vom Geschlecht.

d) Nach meiner bisherigen Erfahrung halte ich mich für physikalisch begabt.

Zustimmungsskala, 1 bis 6

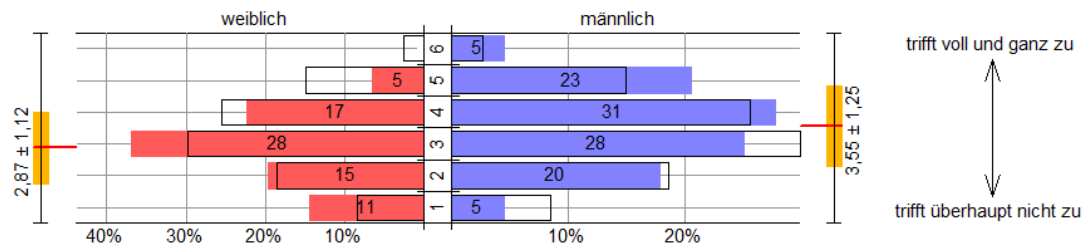


Abbildung 165: Antworten auf Frage II B 2 d in Abhängigkeit vom Geschlecht.

e) Ich denke, dass mir physikalisches Wissen auch im Alltag hilfreich sein kann.

Zustimmungsskala, 1 bis 6

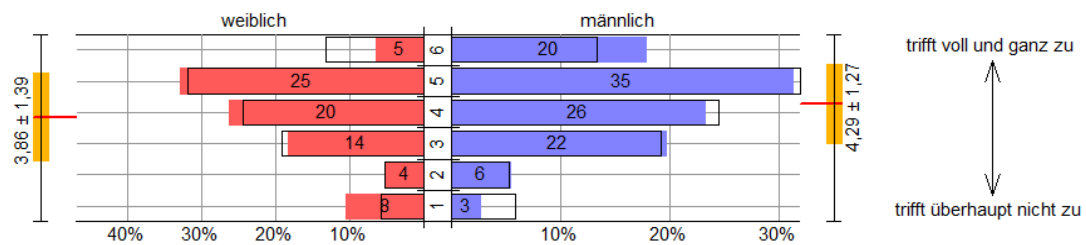


Abbildung 166: Antworten auf Frage II B 2 e in Abhängigkeit vom Geschlecht.

f) Es ist schon vorgekommen, dass ich mir Beobachtungen im Alltag durch Physikwissen erklären konnte.
Zustimmungsskala, 1 bis 5

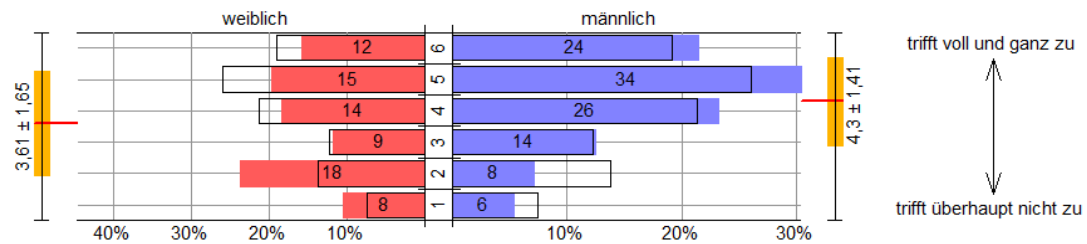


Abbildung 167: Antworten auf Frage II B 2 f in Abhängigkeit vom Geschlecht.

g) Ich würde mir gerne mehr Beobachtungen physikalisch erklären können.
Zustimmungsskala, 1 bis 5

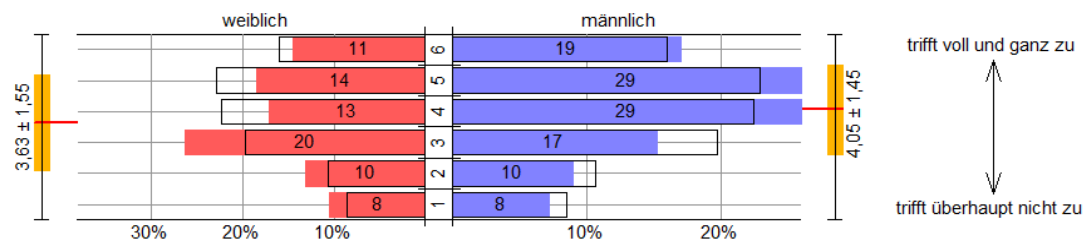


Abbildung 168: Antworten auf Frage II B 2 g in Abhängigkeit vom Geschlecht.

Frage 3:

Bitte bewerten Sie Ihren eigenen Fahrstil (sofern Sie keinen Führerschein besitzen auch als Fahrradfahrer) anhand der folgenden gegensätzlichen Begriffspaare:

5 Teilfragen (a bis e)

a) unsicher - sicher

Bewertungsskala, 1 bis 6

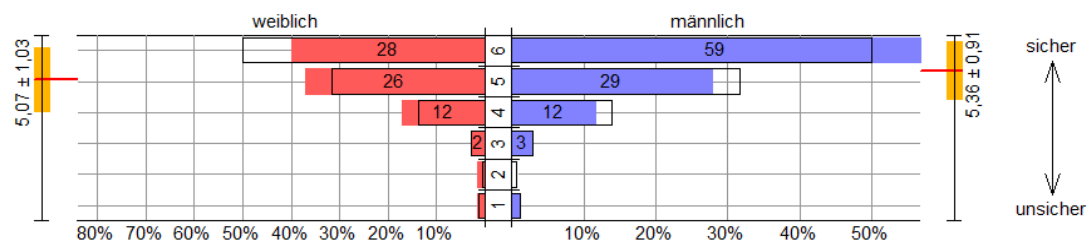


Abbildung 169: Antworten auf Frage II B 3 a in Abhängigkeit vom Geschlecht.

b) vorsichtig - risikofreudig

Bewertungsskala, 1 bis 6

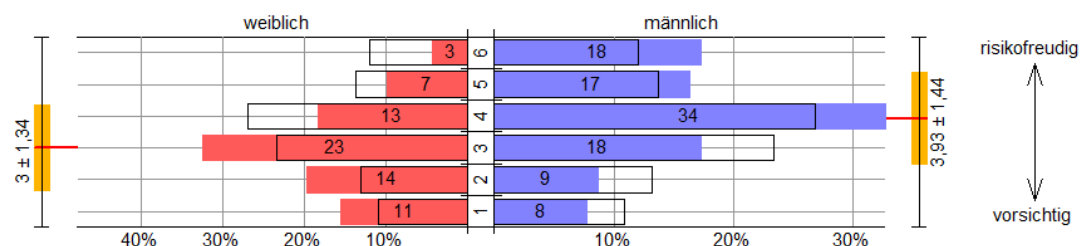


Abbildung 170: Antworten auf Frage II B 3 b in Abhängigkeit vom Geschlecht.

c) spontan - vorausschauend
Bewertungsskala, 1 bis 6

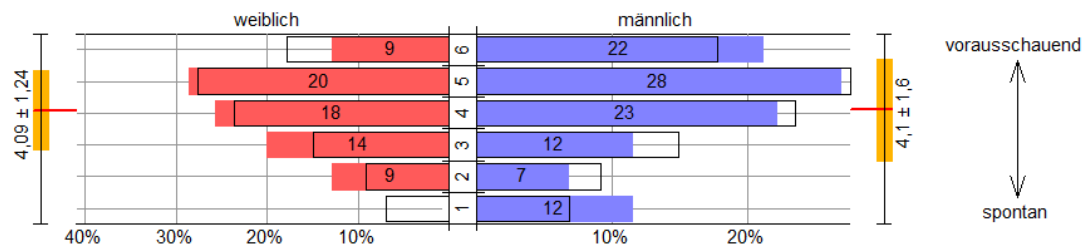


Abbildung 171: Antworten auf Frage II B 3 c in Abhängigkeit vom Geschlecht.

d) defensiv - aggressiv

Bewertungsskala, 1 bis 6

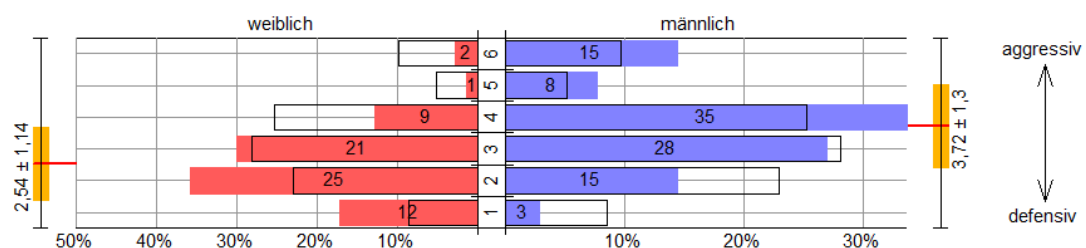


Abbildung 172: Antworten auf Frage II B 3 d in Abhängigkeit vom Geschlecht.

e) ökonomisch - sportlich

Bewertungsskala, 1 bis 6

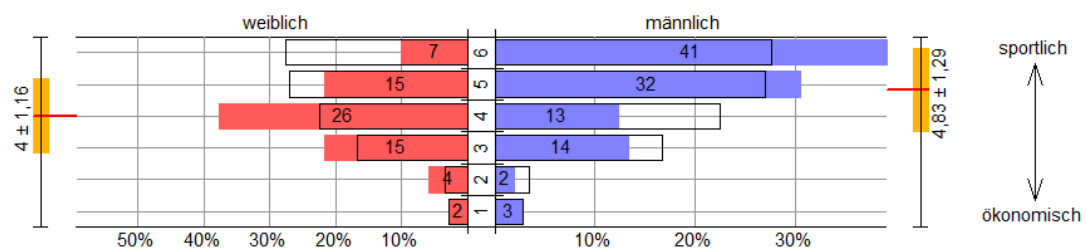


Abbildung 173: Antworten auf Frage II B 3 e in Abhängigkeit vom Geschlecht.

4.2.2.5 Einfache geradlinige Bewegungen (III A)

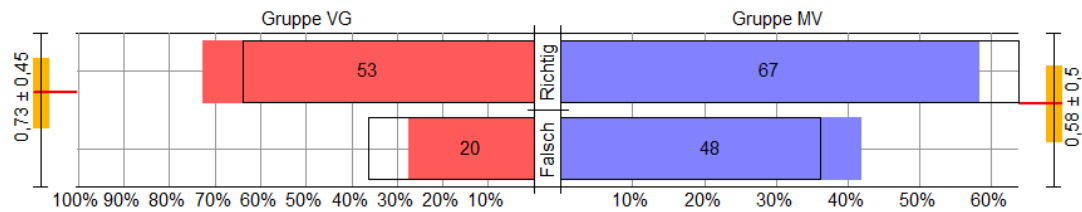
In diesem Teil des Fragebogens (Anhang 5.2.2.2 Seite 400) geht es um physikalische Fragestellungen. Alle Fragen sind so gestaltet, dass sie sich richtig oder falsch lösen lassen. Daher werden die Ergebnisse als Verteilung der richtigen und falschen Antworten auf die Gruppe MV, welche mit dem vorgestellten Unterrichtskonzept unterrichtet wurde, und die Vergleichsgruppe VG, welche traditionell unterrichtet wurde, dargestellt.

Für die richtige Lösung wurde ein Punkt, für eine falsche oder gar keine Lösung wurden null Punkte vergeben. Vor diesem Hintergrund sind auch die angegebenen Mittelwerte und Standardabweichungen sind so zu verstehen.

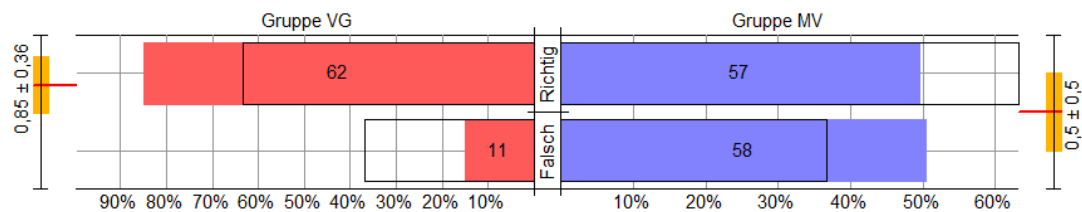
Frage 1Definieren Sie bitte den physikalischen Begriff der Geschwindigkeit (v)

2 Teilfragen (a und b)

a) mit Worten (im ganzen Satz).

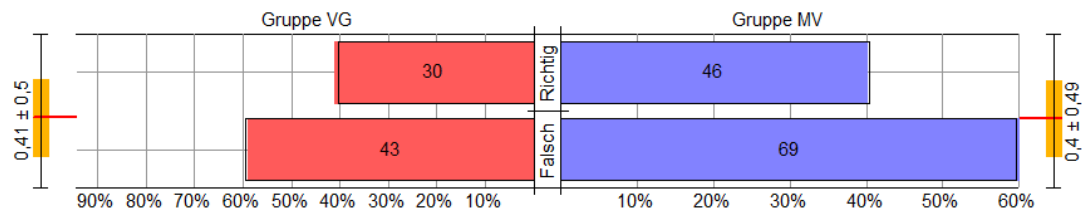
Bewerteter Freitext, sinnvolle Antwort: Geschwindigkeit ist die zeitliche Änderung des Ortes.**Abbildung 174:** Bewertung der Antworten auf Frage III A 1 a nach Gruppenzugehörigkeit.

b) durch eine mathematische Formel.

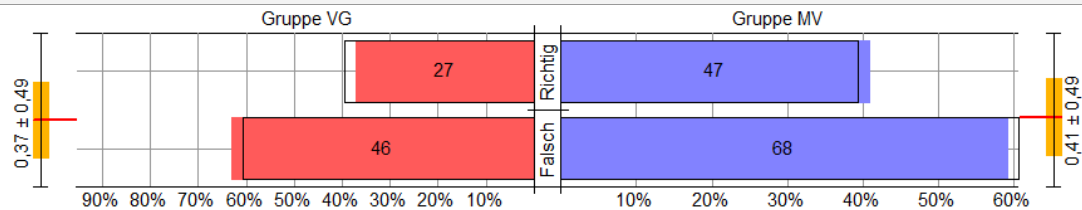
Bewerteter Freitext, sinnvolle Antworten: $v = s / t$ oder $v = ds / dt$ **Abbildung 175:** Bewertung der Antworten auf Frage III A 1 b nach Gruppenzugehörigkeit.**Frage 2**Definieren Sie bitte den physikalischen Begriff der Beschleunigung (a)

2 Teilfragen (a und b)

a) mit Worten (im ganzen Satz).

Bewerteter Freitext, sinnvolle Antwort: Beschleunigung ist die zeitliche Änderung der Geschwindigkeit.**Abbildung 176:** Bewertung der Antworten auf Frage III A 2 a nach Gruppenzugehörigkeit.

b) durch eine mathematische Formel.

Bewerteter Freitext, sinnvolle Antworten: $a = v / t$ oder $a = dv / dt$ **Abbildung 177:** Bewertung der Antworten auf Frage III A 2 b nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 3

Bei welcher der folgenden Angaben handelt es sich um eine Einheit der Geschwindigkeit?

14 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 9 → m / s

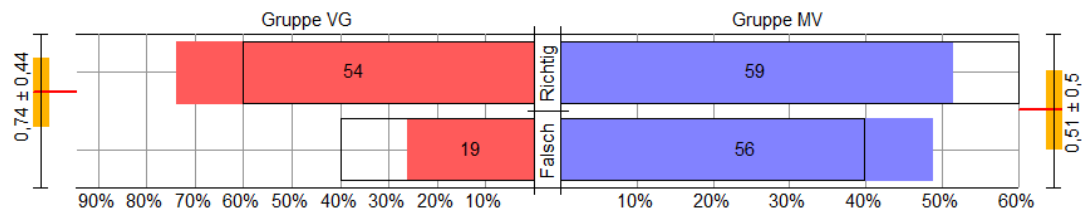


Abbildung 178: Bewertung der Antworten auf Frage III A 3 nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 4:

Bei welcher der folgenden Angaben handelt es sich um eine Einheit der Beschleunigung?

14 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 11 → m / s²

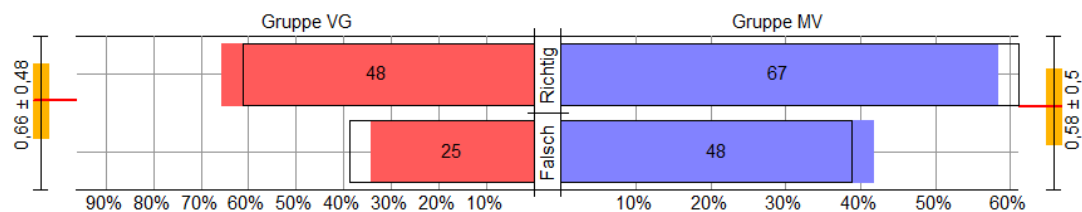


Abbildung 179: Bewertung der Antworten auf Frage III A 4 nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 5:

In den folgenden 3 Diagrammen ist jeweils die Geschwindigkeit v gegen die Zeit t aufgetragen.

(Diagramme siehe Anhang 5.2.2.2 Seite 400)

3 Teilfragen (a bis c)

a) Welches Diagramm beschreibt eine gleichförmige Bewegung?

3 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 2 → Diagramm 2

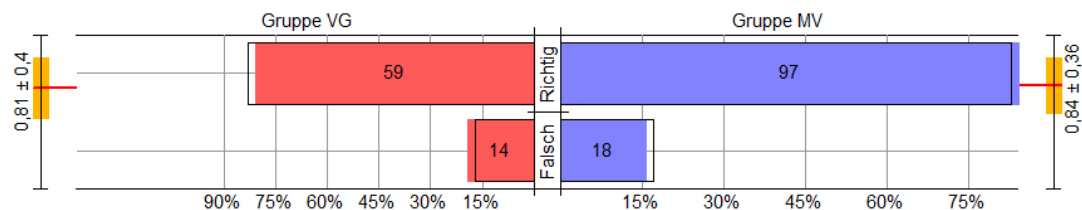


Abbildung 180: Bewertung der Antworten auf Frage III A 5 a nach Gruppenzugehörigkeit.

b) Welches Diagramm beschreibt eine gleichmäßig positiv beschleunigte Bewegung?

Bewertete Nominalskala, 3 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 3 → Diagramm 3

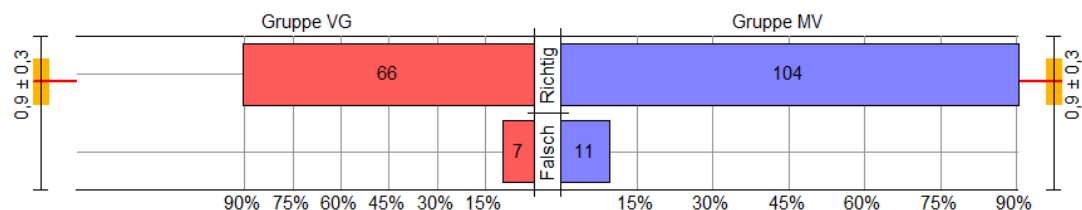


Abbildung 181: Bewertung der Antworten auf Frage III A 5 b nach Gruppenzugehörigkeit.

c) Welches Diagramm beschreibt eine gleichmäßig verzögerte Bewegung bis zum Stillstand?

Bewertete Nominalskala, 3 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 1 → Diagramm 1

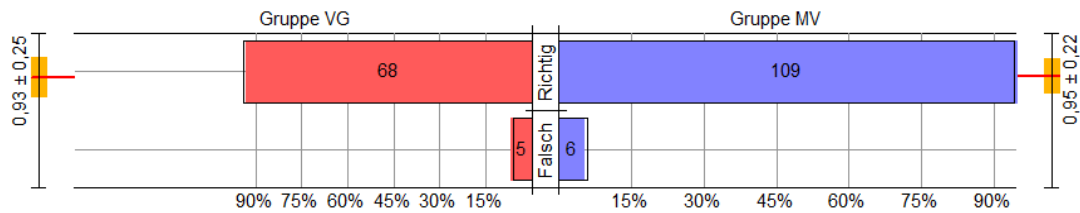


Abbildung 182: Bewertung der Antworten auf Frage III A 5 c nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 6:

In den folgenden 3 Diagrammen ist jeweils der Ort s gegen die Zeit t aufgetragen.

(Diagramme siehe Anhang 5.2.2.2 Seite 401 oben)

3 Teilfragen (a bis c)

a) Welches Diagramm beschreibt eine gleichförmige Bewegung?

3 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 3 → Diagramm 3

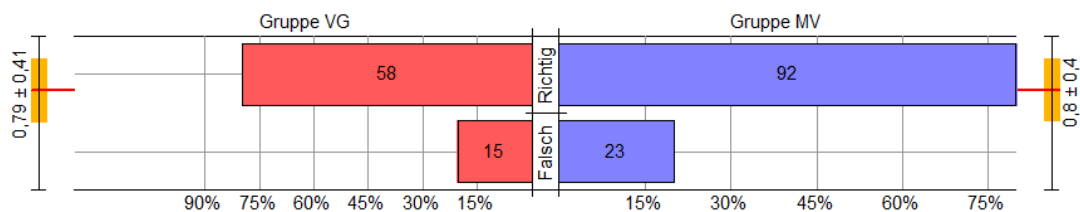


Abbildung 183: Bewertung der Antworten auf Frage III A 6 a nach Gruppenzugehörigkeit.

b) Welches Diagramm beschreibt eine gleichmäßig positiv beschleunigte Bewegung?

Bewertete Nominalskala, 3 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 1 → Diagramm 1

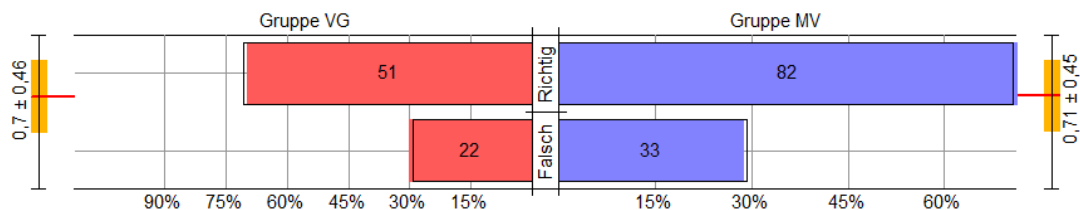


Abbildung 184: Bewertung der Antworten auf Frage III A 6 b nach Gruppenzugehörigkeit.

c) Welches Diagramm beschreibt eine gleichmäßig verzögerte Bewegung bis zum Stillstand?

3 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 2 → Diagramm 2

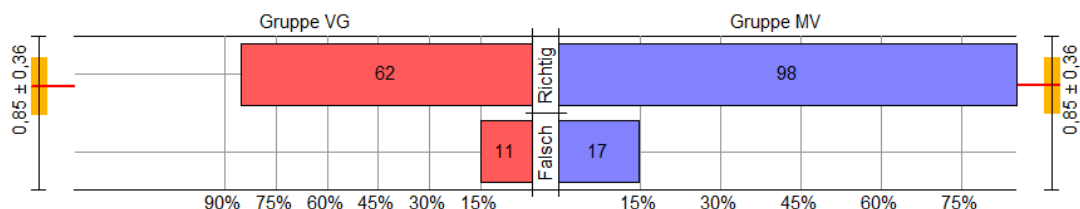


Abbildung 185: Bewertung der Antworten auf Frage III A 6 c nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 7:

Die folgenden Abbildungen zeigen physikalische Modelle in einer graphischen Symbolsprache, die nach ihrem Erfinder Forrester-Schema genannt wird.

(Modelle siehe Anhang 5.2.2.2 Seite 401 unten)

2 Teilfragen (a und b)

a) Welches der Modelle beschreibt eine gleichförmige Bewegung?

8 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 7 → Modell 7

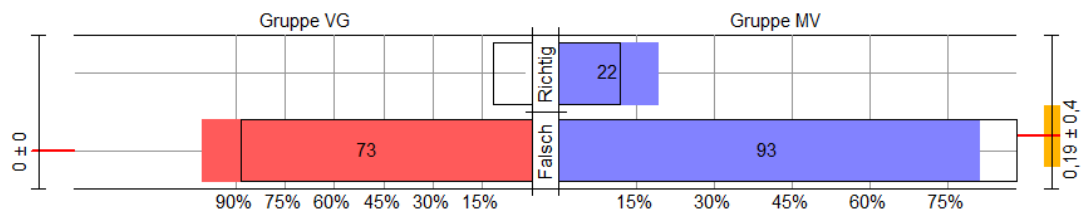


Abbildung 186: Bewertung der Antworten auf Frage III A 7 a nach Gruppenzugehörigkeit.

b) Welches der Modelle beschreibt eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung?

8 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 4 → Modell 4

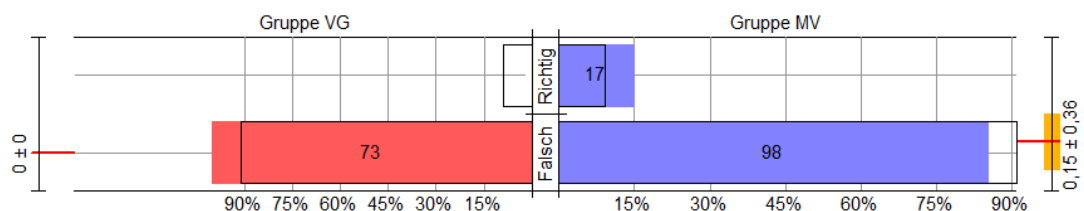


Abbildung 187: Bewertung der Antworten auf Frage III A 7 b nach Gruppenzugehörigkeit.

In der folgenden Tabelle sehen Sie drei Gruppen von Formeln, welche den Ort s , die Geschwindigkeit v und die positive Beschleunigung a ($a \geq 0$) jeweils in Abhängigkeit von der Zeit t beschreiben. Bitte beachten Sie, dass nicht alle Formeln etwas Sinnvolles aussagen!

(Formeln siehe Anhang 5.2.2.2 Seite 402)

Frage 8:

Je eine Formel aus jeder Gruppe beschreibt eine gleichförmige Bewegung. Welche?

3 Teilfragen (a bis c)

a) Aus Formelgruppe A

6 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 2 → Formel 2

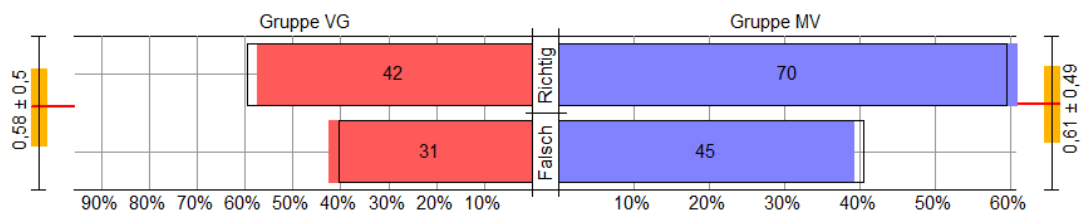


Abbildung 188: Bewertung der Antworten auf Frage III A 8 a nach Gruppenzugehörigkeit.

b) Aus Formelgruppe B

6 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 1 → Formel 1

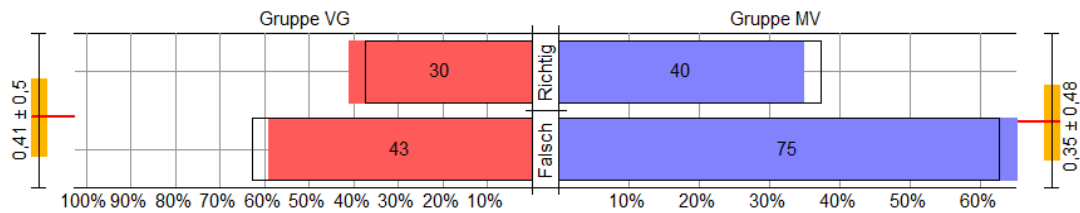


Abbildung 189: Bewertung der Antworten auf Frage III A 8 b nach Gruppenzugehörigkeit.

c) Aus Formelgruppe C

6 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 6 → Formel 6

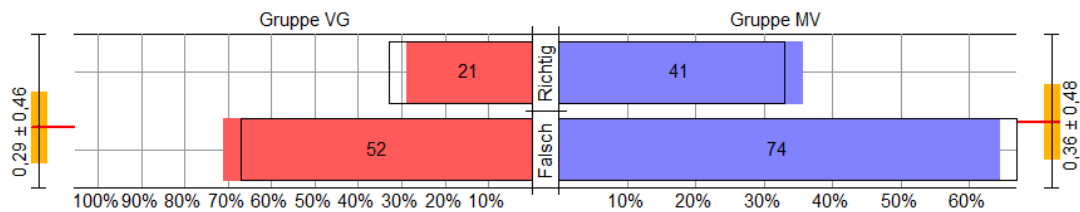


Abbildung 190: Bewertung der Antworten auf Frage III A 8 c nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 9:

Je eine Formel aus jeder Gruppe beschreibt eine gleichmäßig positiv beschleunigte Bewegung. Welche?

3 Teilfragen (a bis c)

a) Aus Formelgruppe A

Bewertete Nominalskala, 6 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 5 → Formel 5

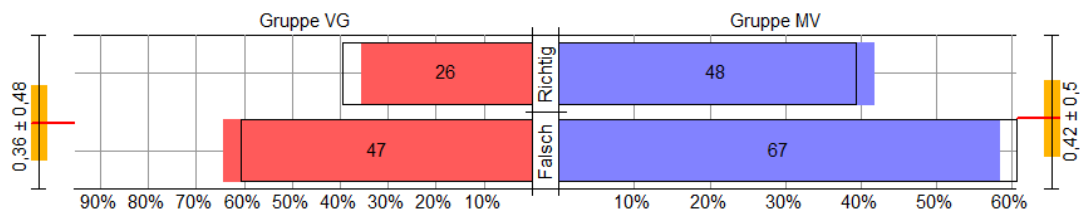


Abbildung 191: Bewertung der Antworten auf Frage III A 9 a nach Gruppenzugehörigkeit.

b) Aus Formelgruppe B

Bewertete Nominalskala, 6 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 3 → Formel 3

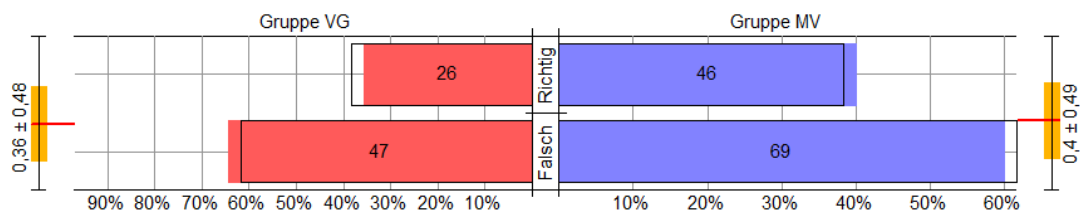


Abbildung 192: Bewertung der Antworten auf Frage III A 9 b nach Gruppenzugehörigkeit.

c) Aus Formelgruppe C

6 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 1 → Formel 1

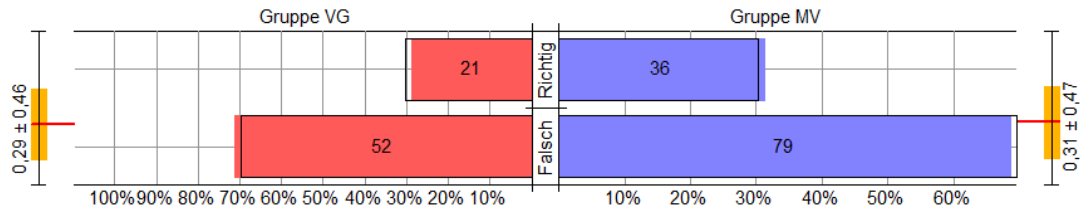


Abbildung 193: Bewertung der Antworten auf Frage III A 9 c nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 10:

Je eine Formel aus jeder Gruppe beschreibt eine gleichmäßig verzögerte Bewegung von einer Anfangsgeschwindigkeit aus. Welche?

3 Teilfragen (a bis c)

a) Aus Formelgruppe A

6 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 6 → Formel 6

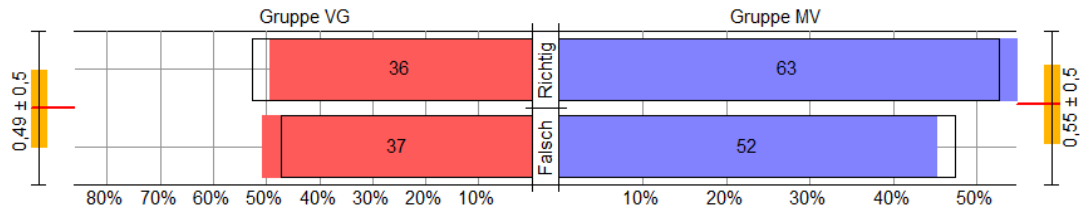


Abbildung 194: Bewertung der Antworten auf Frage III A 10 a nach Gruppenzugehörigkeit.

b) Aus Formelgruppe B

6 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 5 → Formel 5

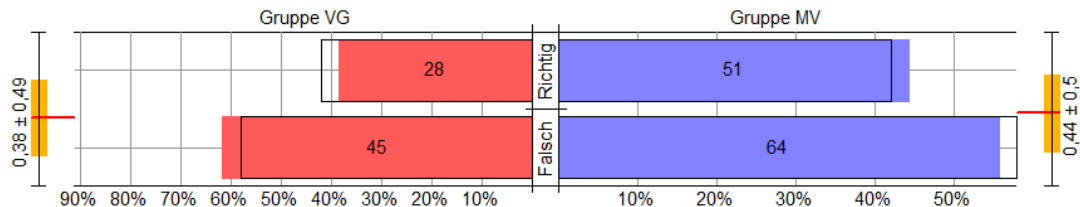


Abbildung 195: Bewertung der Antworten auf Frage III A 10 b nach Gruppenzugehörigkeit.

c) Aus Formelgruppe C

6 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 1 → Formel 1

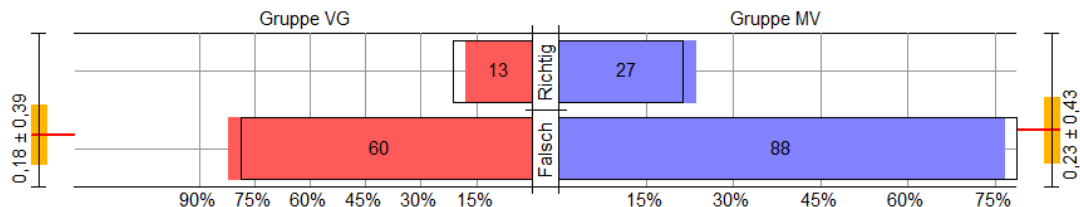


Abbildung 196: Bewertung der Antworten auf Frage III A 10 c nach Gruppenzugehörigkeit.

4.2.2.6 Modelle und Systeme (III B)

Die Aufgaben dieses Abschnitts (siehe Anhang 5.2.2.2 Seite 403) beschäftigen sich mit Modellen und Systemen, sowie mit dem Verständnis naturwissenschaftlicher Erkenntnisprozesse.

Frage 1:

Was sollte ein gutes physikalisches Modell leisten? Bitte nennen Sie im Folgenden drei Aspekte, die Sie für wichtig halten.

Bewerteter Freitext, 3 Felder

Diese Aufgabe wurde von den Schülern so unterschiedlich interpretiert und bearbeitet, dass eine vergleichende Bewertung nicht möglich ist.

Frage 2:

Stellen Sie sich vor, Sie sind Experimentalphysiker. Ein Kollege aus der theoretischen Physik hat ein neues Theoriemodell entworfen und daraus einige interessante Hypothesen abgeleitet, die Sie nun experimentell überprüfen sollen. Welche der folgenden Aussagen trifft zu?

Aussage A: Wird die Vermutung durch das Experiment bestätigt, ist die Hypothese damit eindeutig bewiesen.

Aussage B: Wird die Vermutung durch das Experiment nicht bestätigt, ist die Hypothese damit eindeutig widerlegt.

4 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 3 → Aussage B ist richtig

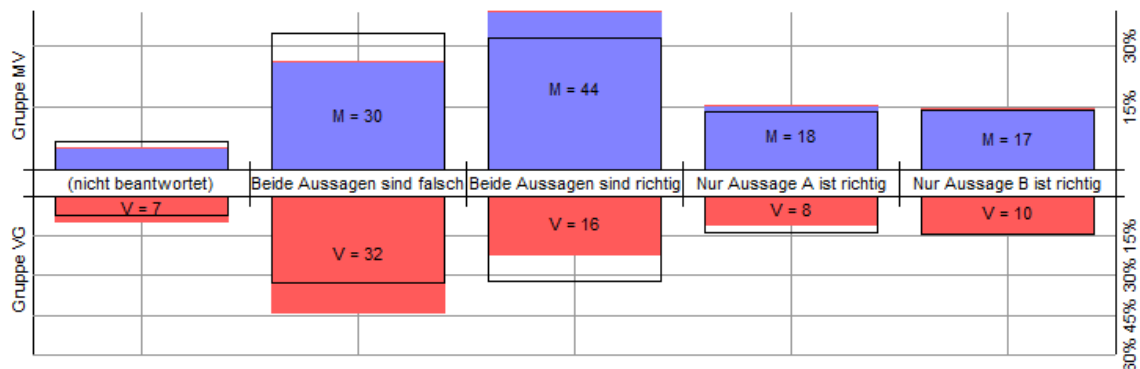


Abbildung 197: Bewertung der Antworten auf Frage III B 2 nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 3:

Stellen Sie sich nun vor, Sie sind Verkehrsforscher und sollen ein Modell für die mittlere Verkehrsdichte einer bestimmten Autobahn, nennen wir sie A1000, erstellen. Dazu überlegen Sie sich Folgendes:

Je schneller man im Durchschnitt auf der Autobahn vorankommt, desto häufiger werden Autofahrer sie nutzen. Je häufiger die Autobahn genutzt wird, desto höher ist die mittlere Verkehrsdichte. Je höher die mittlere Verkehrsdichte, desto größer die Wahrscheinlichkeit dass sich Staus bilden. Je häufiger es Staus gibt, desto geringer die Geschwindigkeit, mit der man die Autobahn im Durchschnitt befahren kann.

Zur Darstellung des Modells verwenden Sie eine graphische Symbolsprache: Systemgrößen werden als Ovale dargestellt, die Beeinflussung einer Größe B durch eine Größe A durch Pfeile, und zwar in dieser Art:

(Zeichnung siehe Anhang 5.2.2.2 Seite 403 Mitte)

a) Bitte vervollständigen Sie das folgende Modell unter Verwendung dieser Symbolsprache:

(Zeichnung siehe Anhang 5.2.2.2 Seite 403 unten)

Bewertete Freizeichnung

Insgesamt waren 4 Pfeile einzuzeichnen und mit Operatoren zu versehen. Je einen Punkt gibt es für jede richtige Verbindung zweier Felder, für jede korrekte Richtung, und für jeden richtigen Operator. Für jede zusätzliche falsche Einzeichnung wird ein Punkt abgezogen.

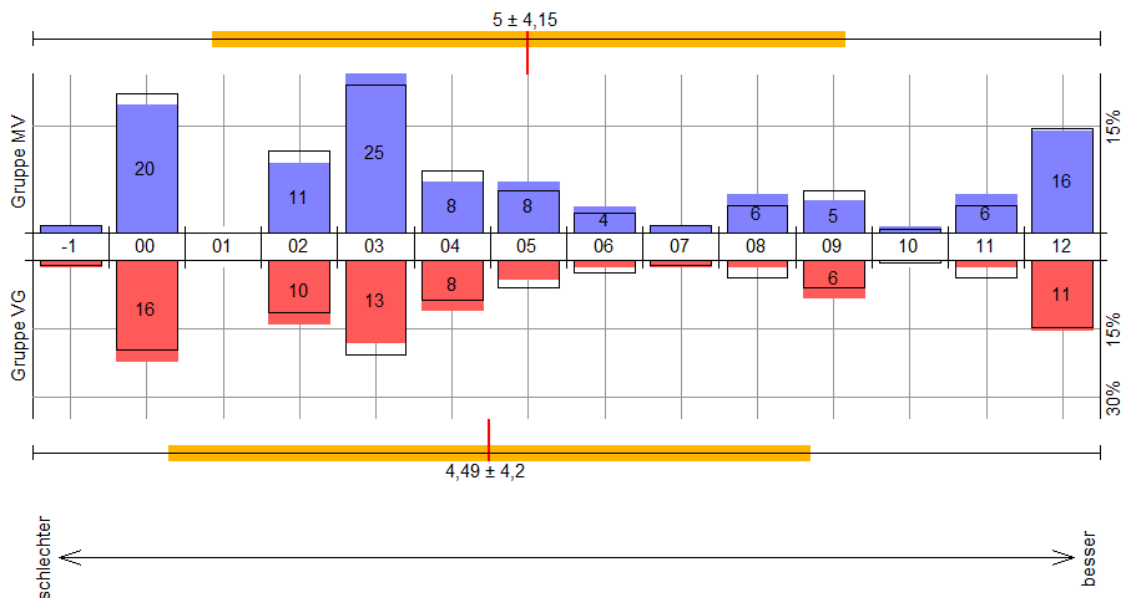


Abbildung 198: Bewertung der Antworten auf Frage III B 3 a nach Gruppenzugehörigkeit.

b) Wie wird sich die mittlere Verkehrsdichte auf der A1000 nach diesem Modell vermutlich entwickeln?

5 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort:

3 → Es wird sich ein Durchschnittswert einstellen, um den die mittlere Verkehrsdichte schwankt.

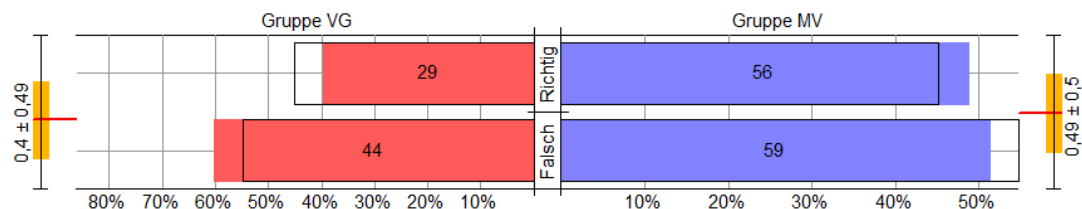


Abbildung 199: Bewertung der Antworten auf Frage III B 3 b nach Gruppenzugehörigkeit.

4.2.2.7 Probleme aus dem Straßenverkehr (IV A)

Für die Fragen in diesem Bereich (siehe Anhang 5.2.2.2 Seite 404), die sich mit physikalischen Problemen aus dem Kontext Straßenverkehr beschäftigen, gilt das gleiche wie für die Fragen in Abschnitt 4.2.2.5.

Frage 1:

Ein PKW fährt mit 50 km/h durch eine geschlossene Ortschaft, als plötzlich ein Fahrradfahrer aus einer Hofeinfahrt auf die Fahrbahn fährt, ohne auf den fließenden Verkehr zu achten. Der Fahrer des PKW führt daher eine Gefahrenbremsung aus. Im nachfolgenden Diagramm ist die Geschwindigkeit des PKW gegen den zurückgelegten Weg aufgetragen, wobei die Aufzeichnung beim Auftauchen der Gefahr beginnt.

(Diagramm siehe Anhang 5.2.2.2 Seite 404)

6 Teilfragen (a bis f)

a) Wie lang ist der Bremsweg des PKW?

5 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 3 → 12,0 m

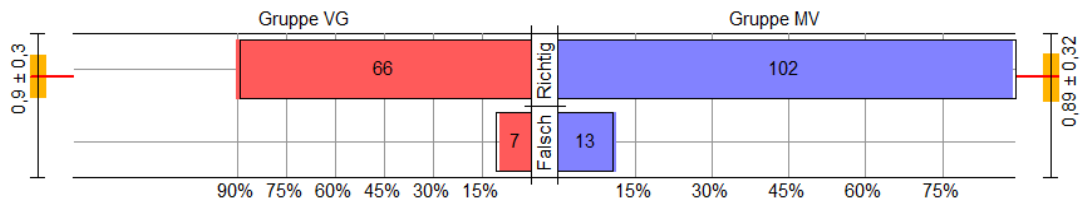


Abbildung 200: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 1 a nach Gruppenzugehörigkeit.

b) Wie lang ist der Anhalteweg des PKW?

5 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 4 → 18,9 m

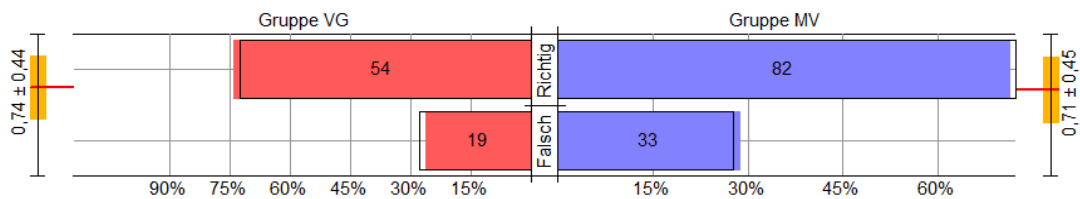


Abbildung 201: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 1 b nach Gruppenzugehörigkeit.

c) Wie lang ist der Reaktionsweg des PKW?

5 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 2 → 6,9 m

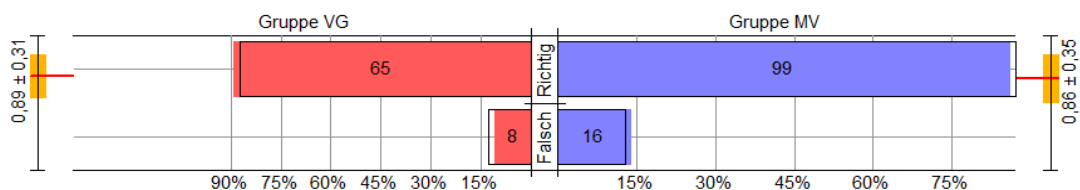


Abbildung 202: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 1 c nach Gruppenzugehörigkeit.

d) Welche Reaktionszeit benötigte der Fahrer des PKW?

6 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 2 → 0,50 s

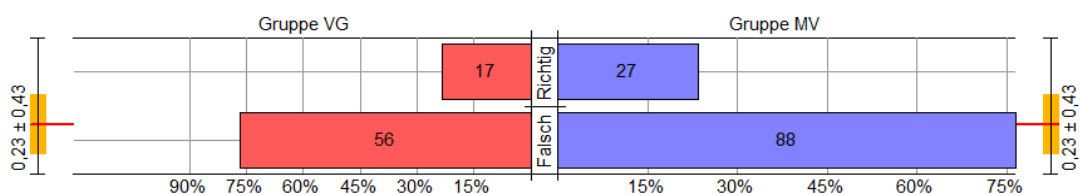


Abbildung 203: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 1 d nach Gruppenzugehörigkeit.

e) Welche Art von Bewegung führt das Fahrzeug auf dem Reaktionsweg aus?

4 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 1 → Gleichförmige Bewegung

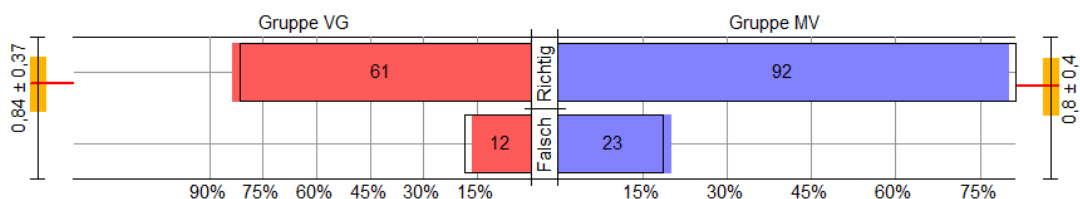


Abbildung 204: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 1 e nach Gruppenzugehörigkeit.

f) Welche Art von Bewegung führt das Fahrzeug auf dem Bremsweg aus?

4 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 3 → Gleichmäßig verzögerte Bewegung

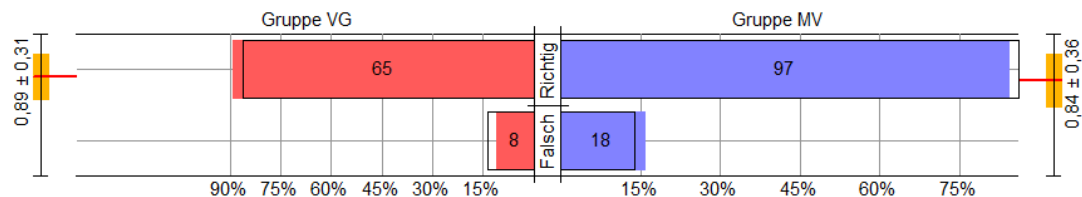


Abbildung 205: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 1 f nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 2:

Ein Testfahrer führt mit einem PKW nacheinander Testbremsungen unter genau identischen Bedingungen aus, wobei er stets während des gesamten Bremsvorgangs die gleiche Bremsverzögerung erreicht. Er beginnt mit 20 km/h und erreicht einen Bremsweg von 2 m.

2 Teilfragen (a und b)

a) Wie lang ist der Bremsweg bei 40 km/h?

10 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 4 → 8 m

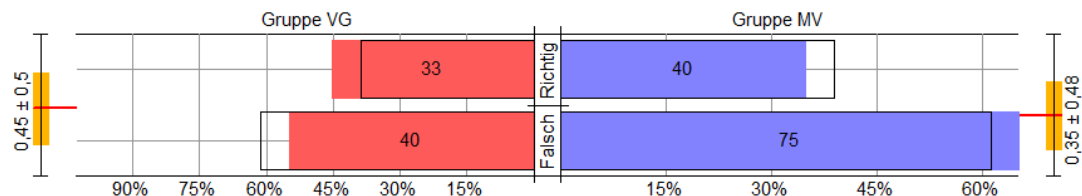


Abbildung 206: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 2 a nach Gruppenzugehörigkeit.

b) Wie lang ist der Bremsweg bei 80 km/h?

10 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 8 → 32 m

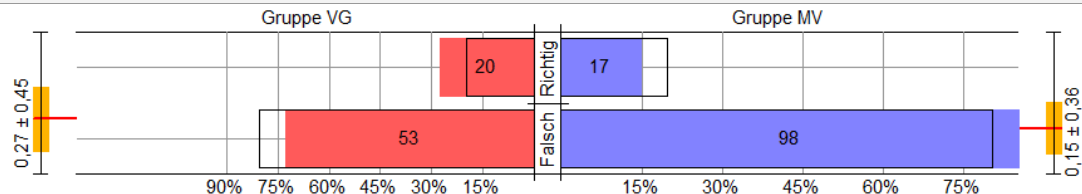


Abbildung 207: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 2 b nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 3:

Was gilt bei zunehmender Geschwindigkeit für das Verhältnis von Reaktionsweg und Bremsweg?

3 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 3 → Der Anteil des Bremsweges am Anhalteweg wird größer.

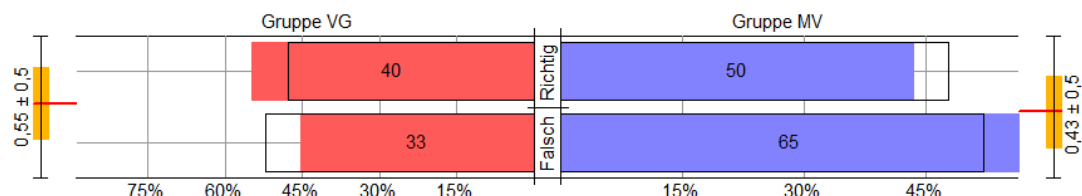


Abbildung 208: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 3 nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 4:

Zwei genau gleiche Fahrzeuge fahren nebeneinander auf einer mehrspurigen Stadtstraße. Das rechte hält die vorgeschriebene Geschwindigkeit von 50 km/h ein, das linke überholt mit 70 km/h. Als beide Fahrzeuge auf gleicher Höhe sind, springt plötzlich ein Kind auf die Fahrbahn. Beide Fahrer sind aufmerksam und reagieren nach 0,5 s. Der rechte kommt genau vor dem Kind zum Stehen, der linke schafft es nicht mehr.

2 Teilfragen (a und b)

a) Wie hoch schätzen Sie die Aufprallgeschwindigkeit, mit der das linke Fahrzeug das Kind trifft?

10 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 6 → 50-60 km/h

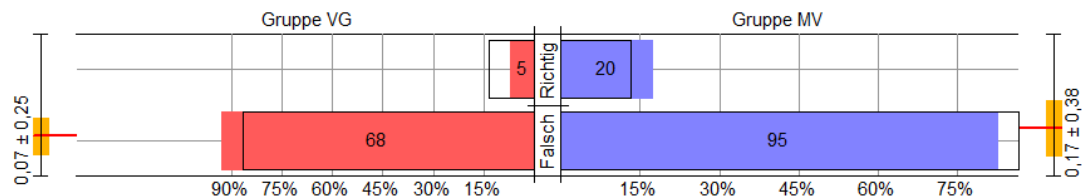


Abbildung 209: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 4 a nach Gruppenzugehörigkeit.

b) Wie hoch schätzen Sie die Chance, dass ein 8 Jahre altes Kind einen Frontalaufprall mit dieser Geschwindigkeit überlebt?

1 bis 5, 1 → 0-20%

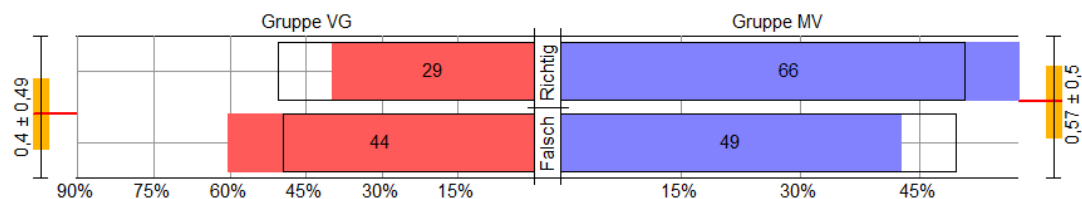


Abbildung 210: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 4 b nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 5:

Jonas ist in der Ausbildung und kommt zu spät zu einem Seminar. Zur Rechtfertigung berichtet er über seine Anreise: „Erst habe ich schon 15 min von zuhause bis zur Autobahn gebraucht – wegen der vielen Ampeln. Dann konnte ich gerade mal 5 min mit 150 km/h fahren, dann war erstmal 10 min Stau. Die restlichen 5 min bis zur Ausfahrt war dann eh Tempo 100 km/h, und nach der Abfahrt musste ich dann noch 10 min durch eine Tempo-30-Zone. Spitze!“. Da der Firmenwagen einen Fahrtenschreiber besitzt, können seine Ausbilder den Bericht überprüfen. Welcher der folgenden drei Ausgaben von Fahrtenschreibern stimmt am realistischsten mit Jonas' Bericht überein?

(Diagramme siehe Anhang 5.2.2.2 Seite 405)

4 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort: 2 → Ausdruck 2

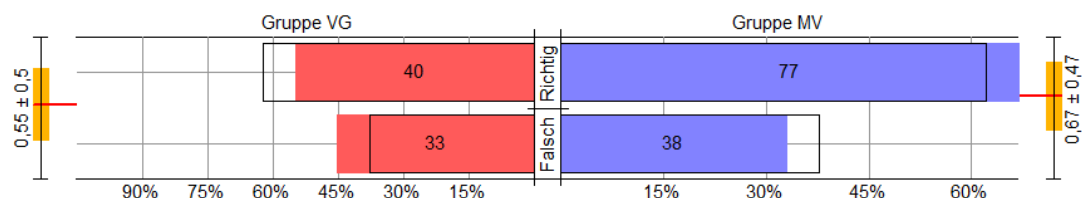


Abbildung 211: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 5 nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 6:

In der Fahrschule wird für den Sicherheitsabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug oft die Faustformel „halber Tachoabstand“ vermittelt. Welche der folgenden Aussagen über diesen Abstand treffen zu?

6 Teilfragen (a bis f)

- a) Wird dieser Abstand eingehalten, kann das Fahrzeug vor einem plötzlich (außerhalb dieses Abstandes) auftauchenden Hindernis sicher zum Stehen gebracht werden.

richtige Antwort: 2 → Falsch

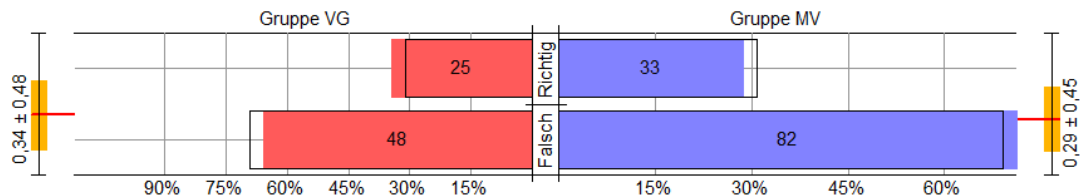


Abbildung 212: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 6 a nach Gruppenzugehörigkeit.

- b) Wird dieser Abstand eingehalten, kann ein Auffahrunfall vermieden werden, wenn das vorausfahrende (gleichwertige) Fahrzeug auf ein stehendes Hindernis prallt.

richtige Antwort: 2 → Falsch

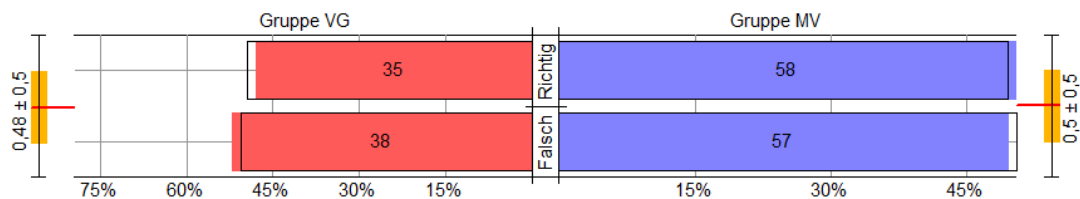


Abbildung 213: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 6 b nach Gruppenzugehörigkeit.

- c) Wird dieser Abstand eingehalten, kann bei einer plötzlichen Vollbremsung des vorausfahrenden (gleichwertigen) Fahrzeugs ein Auffahrunfall vermieden werden.

richtige Antwort: 1 → Richtig

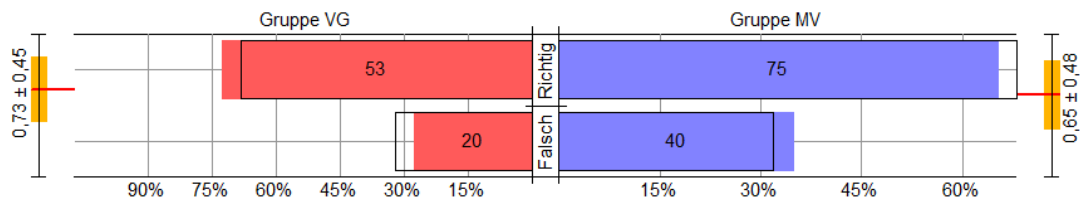


Abbildung 214: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 6 c nach Gruppenzugehörigkeit.

- d) Der Abstand entspricht der doppelten Fahrzeuglänge.

richtige Antwort: 2 → Falsch

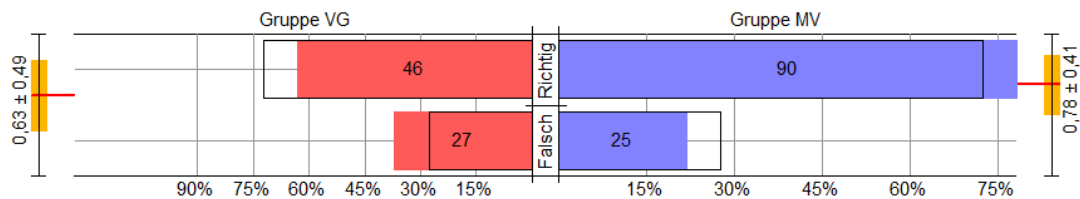


Abbildung 215: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 6 d nach Gruppenzugehörigkeit.

e) Der Abstand entspricht dem Reaktionsweg bei einer Reaktionszeit von 1,0 s.

richtige Antwort: 2 → Falsch

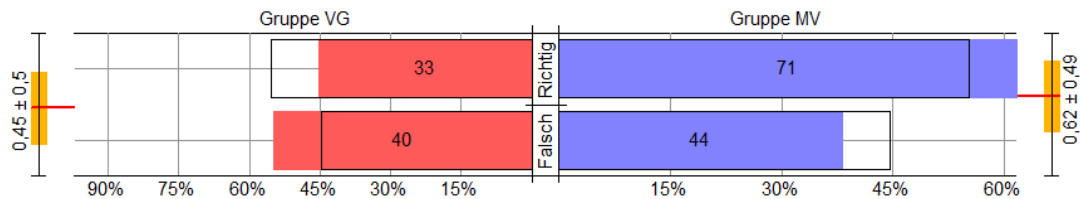


Abbildung 216: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 6 e nach Gruppenzugehörigkeit.

f) Der Abstand entspricht dem Reaktionsweg bei einer Reaktionszeit von 1,8 s.

richtige Antwort: 1 → Richtig

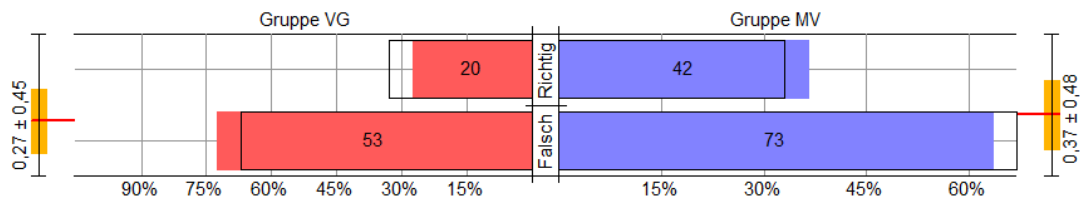


Abbildung 217: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 6 f nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 7:

Ein Fahrzeug hat eine Bewegung auf einer geraden Strecke ausgeführt. Dabei wurde per Videoüberwachung die Position s des Fahrzeuges auf der Strecke in Abhängigkeit von der vergangenen Zeit t bestimmt. Dabei ergab sich folgendes Diagramm:

(Diagramm siehe Anhang 5.2.2.2 Seite 406)

Welche der folgenden Bewegungsbeschreibungen würde sich mit diesem Diagramm decken?

4 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort:

3 → Der Wagen ist im Leerlauf eine Schräge hinauf- und rückwärts wieder herunter gerollt.

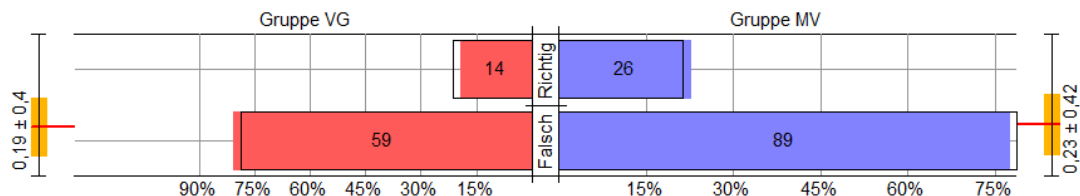


Abbildung 218: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 6 nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 8:

Was versteht der Verkehrsphysiker unter dem Begriff Haftgrenze?

4 Antwortmöglichkeiten, richtige Antwort:

2 → Grenzwert der Beschleunigung des Fahrzeugs, bei dessen Überschreitung die Haftung des Reifens auf der Fahrbahn nicht mehr gewährleistet ist.

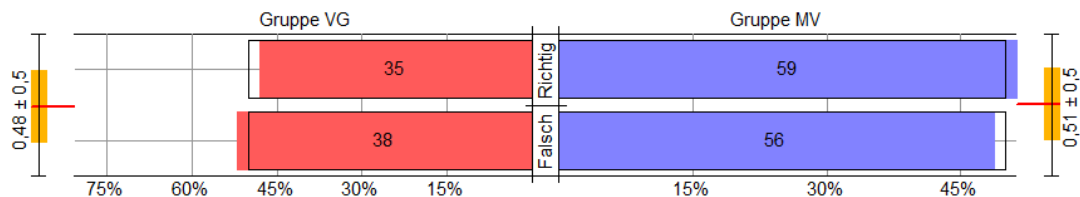


Abbildung 219: Bewertung der Antworten auf Frage IV A 8 nach Gruppenzugehörigkeit.

4.2.2.8 Gefahren im Straßenverkehr (IV B)

In diesem Bereich (siehe Anhang 5.2.2.2 Seite 407) sollen die Schüler Einschätzungen vornehmen, welche Verhaltensweisen im Straßenverkehr sie für besonders gefährlich halten, welche Personengruppen besonders häufig Unfälle verursachen und welche Gegenmaßnahmen sie für mehr oder weniger geeignet halten. Die Einschätzungen sind vorzunehmen auf Skalen von 1 bis 6.

Die graphischen Darstellungen zeigen für jede Frage das arithmetische Mittel (als roten Strich) und die Standardabweichung (als gelbes Rechteck), jeweils getrennt für die Gruppen MV und VG.

Frage 1:

Welche Gruppe von Fahrzeugführern ist Ihrer Einschätzung nach besonders häufig (relativ zur gefahrenen Entfernung) schuldhaft an schweren Verkehrsunfällen beteiligt?

5 Teilfragen (a bis e)

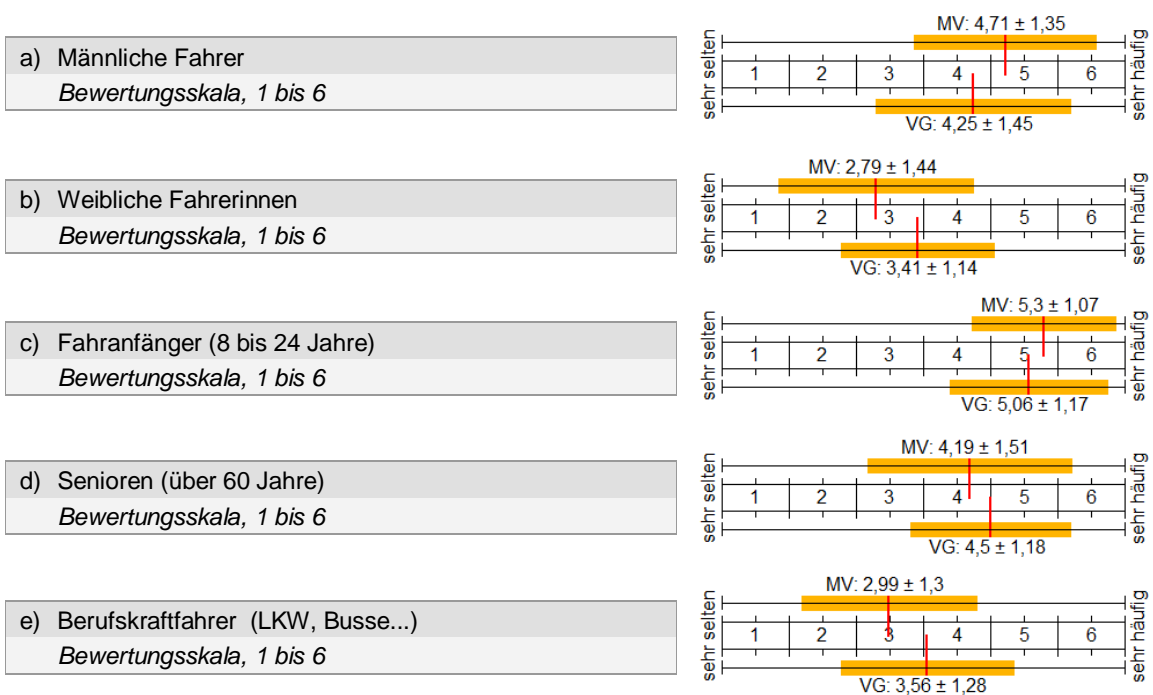
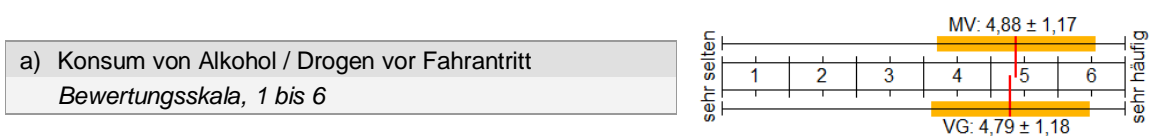


Abbildung 220: Mittelwerte der Antworten auf die Frage IV B 1 a bis e nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 2:

In der Bundesrepublik Deutschland sind im Jahr 2003 über 6000 Menschen im Straßenverkehr ums Leben gekommen. Wie häufig spielten Ihrer Einschätzung nach die folgenden Risikofaktoren dabei eine entscheidende Rolle?

7 Teilfragen (a bis g)



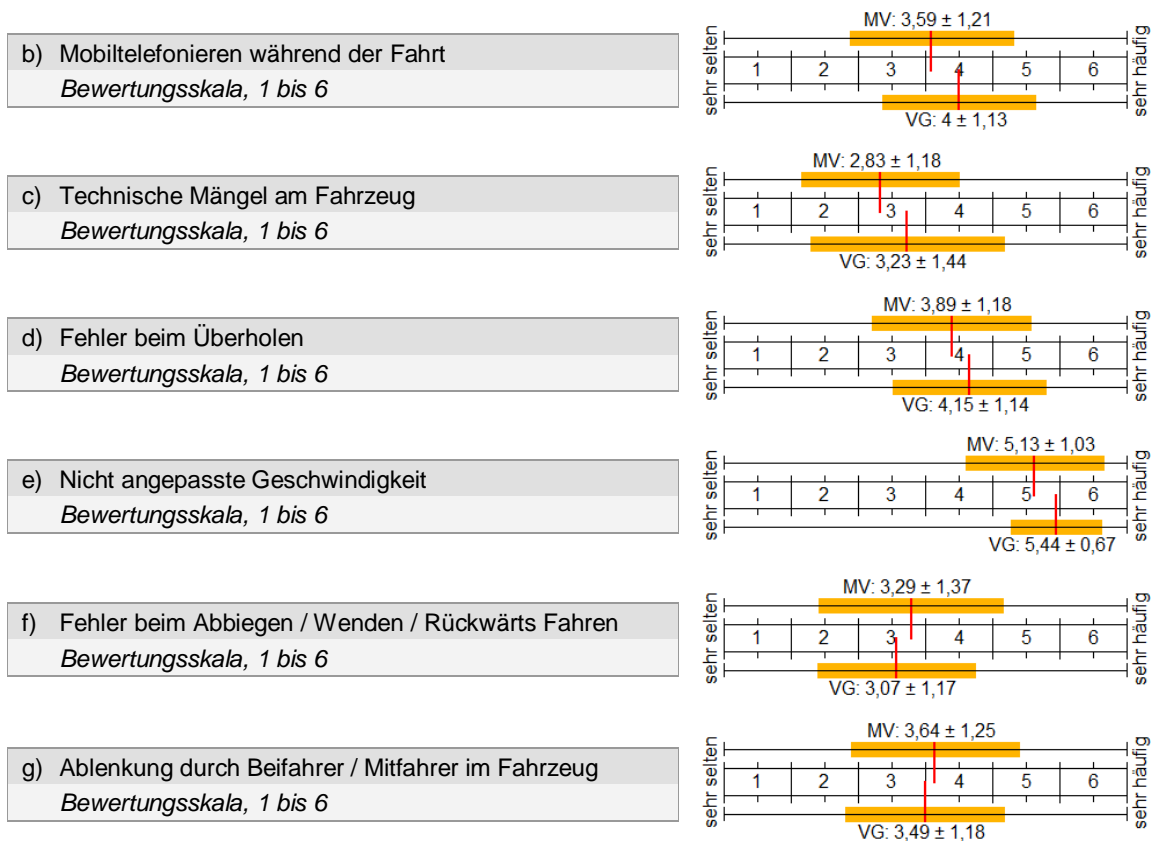
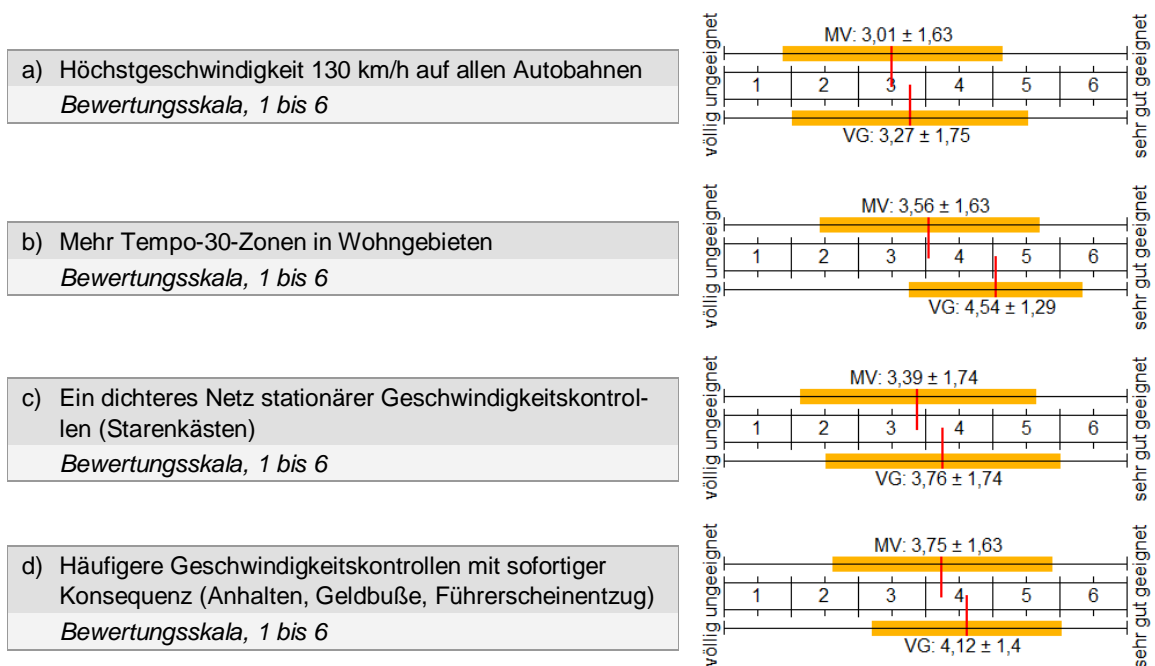


Abbildung 221: Mittelwerte der Antworten auf die Frage IV B 2 a bis g nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 3:

Welche der folgenden Maßnahmen halten Sie für geeignet, um die Zahl tödlicher Unfälle auf deutschen Straßen zu verringern?

12 Teilfragen (a bis l)



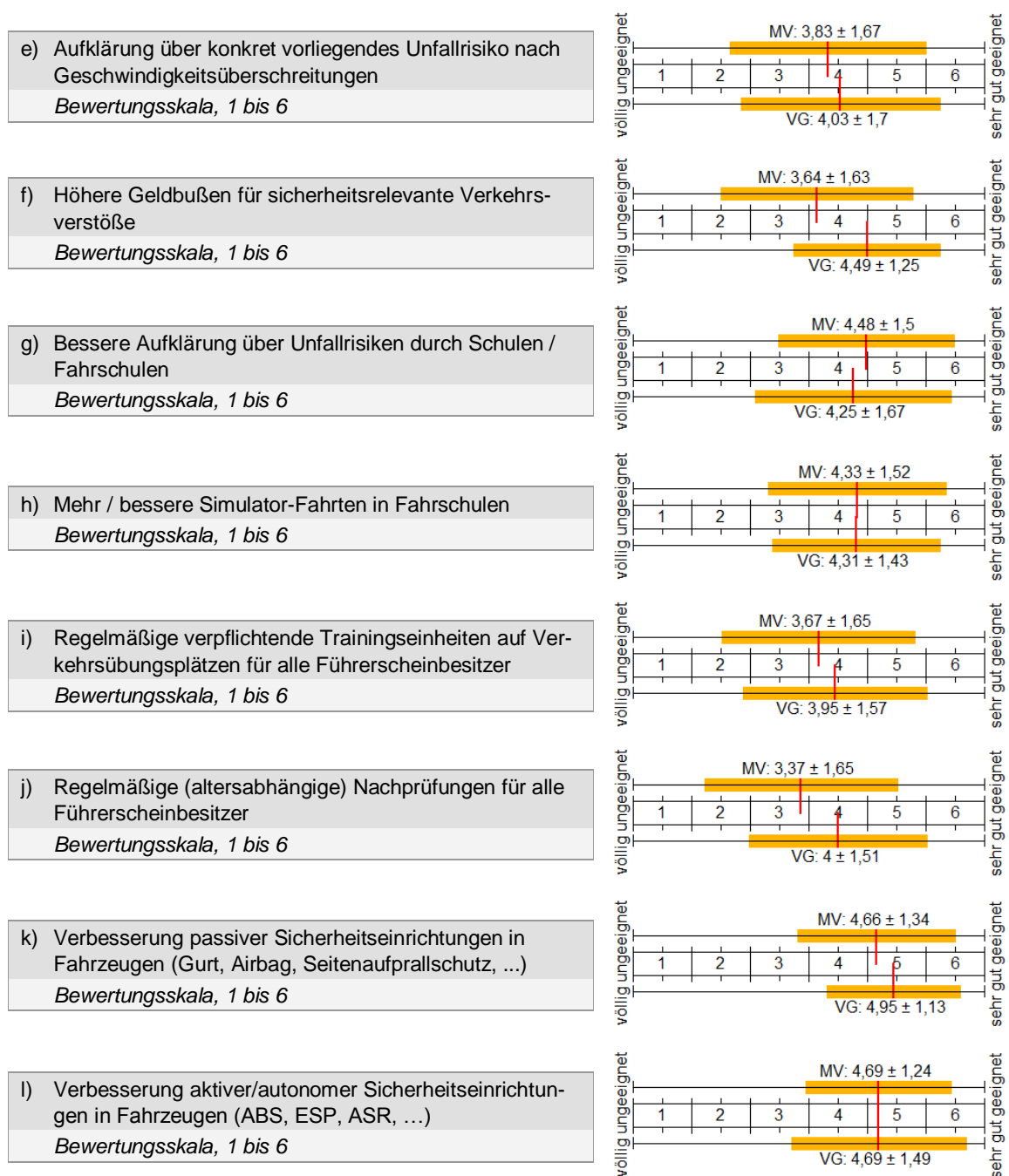


Abbildung 222: Mittelwerte der Antworten auf die Frage IV B 3 a bis l nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 4

Sie fahren mit einer Geschwindigkeit von 180 km/h über eine gut ausgebaute, dreispurige Autobahn. Bitte geben Sie Ihre Einschätzung zu folgenden Aussagen:

4 Teilfragen (a bis d)

a) Ich traue mir zu, das Fahrzeug bei dieser Geschwindigkeit technisch zu beherrschen.

Zustimmungsskala, 1 bis 6

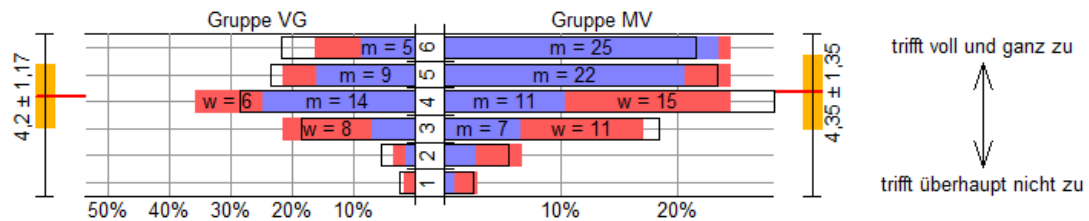


Abbildung 223: Antworten auf die Frage IV B 4 a nach Gruppenzugehörigkeit und Geschlecht.

b) Durch eine gute Reaktionszeit kann ich mein Unfallrisiko deutlich senken.

Zustimmungsskala, 1 bis 6

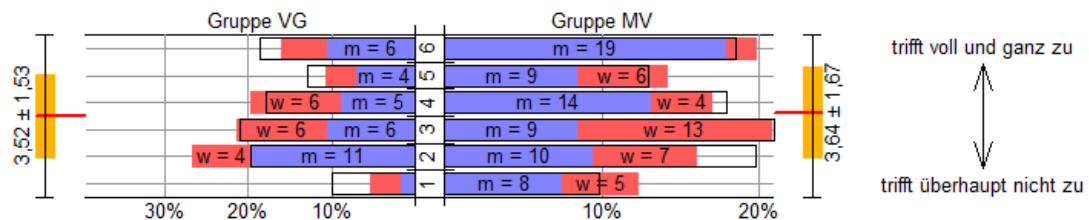


Abbildung 224: Antworten auf die Frage IV B 4 b nach Gruppenzugehörigkeit und Geschlecht.

c) Ich denke, ich kann die möglichen Folgen eines Unfalls bei dieser Geschwindigkeit gut einschätzen.

Zustimmungsskala, 1 bis 6

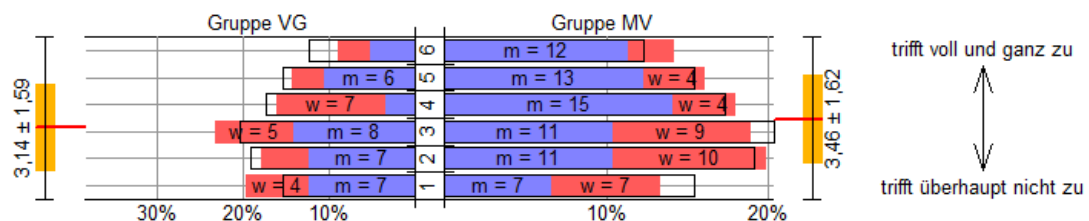


Abbildung 225: Antworten auf die Frage IV B 4 c nach Gruppenzugehörigkeit und Geschlecht.

d) Mein Risiko, einen Unfall zu verursachen, ist geringer, wenn mir die Strecke gut bekannt ist.

Zustimmungsskala, 1 bis 6

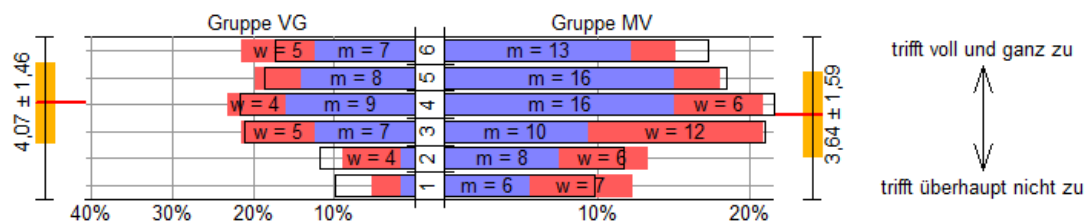


Abbildung 226: Antworten auf die Frage IV B 4 d nach Gruppenzugehörigkeit und Geschlecht.

4.2.2.9 Reflexion der Unterrichtsreihe (IV C)

Im letzten Abschnitt (siehe Anhang 5.2.2.2 Seite 409) sollen die Schüler rückblickend die Unterrichtsreihe reflektieren, sowohl bezogen auf die einzelnen Module, als auch auf den Gesamteindruck. Hierzu stehen wieder Skalen von 1 bis 6 zu Verfügung. Dar gestellt sind wieder die Mittelwerte und Standardabweichungen, differenziert nach den Gruppen VG oder MV.

Bitte bewerten Sie die einzelnen Bestandteile der vorausgegangenen Unterrichtsreihe zum Thema „Mechanik und Verkehr“ auf einer Skala von 1 bis 6:

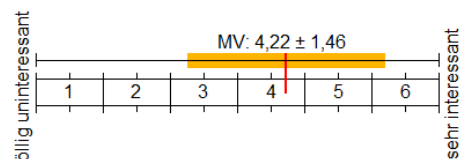
Frage 1:

Waren Inhalt und Art der Darbietung für Sie interessant oder ansprechend?

10 Teilfragen (a bis j)

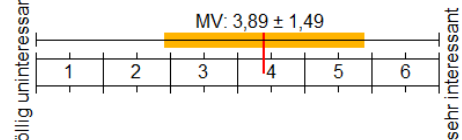
a) Besuch der Polizei zum Einstieg

Bewertungsskala, 1 bis 6



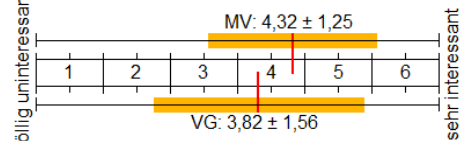
b) Auswertung eines polizeilichen Unfallberichtes

Bewertungsskala, 1 bis 6



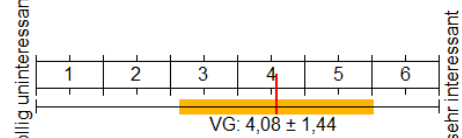
c) Schülerversuche / Lernstationen

Bewertungsskala, 1 bis 6



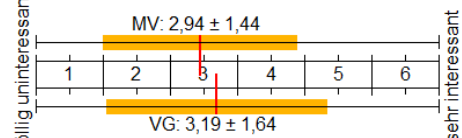
d) Lehrerexperimente / frontal

Bewertungsskala, 1 bis 6



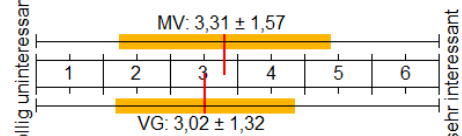
e) Mathematische Auswertungen / Herleitung von Formeln

Bewertungsskala, 1 bis 6



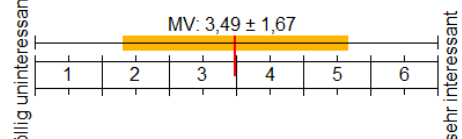
f) Erstellen und Auswerten von Diagrammen

Bewertungsskala, 1 bis 6

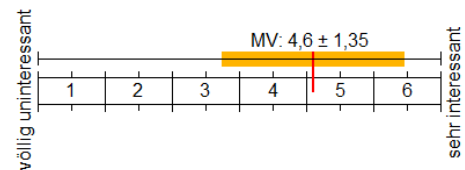


g) Modellbildung mit und ohne Computer

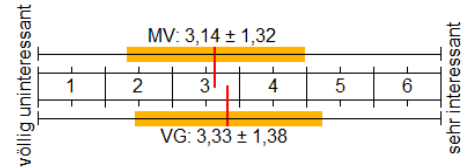
Bewertungsskala, 1 bis 6



h) Unfallsimulation mit dem Computer
Bewertungsskala, 1 bis 6



i) Bearbeiten von Übungsaufgaben
Bewertungsskala, 1 bis 6



j) Besuch der Polizei zum Abschluss / Rollenspiel
Bewertungsskala, 1 bis 6

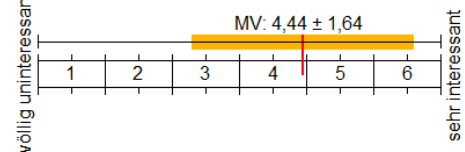


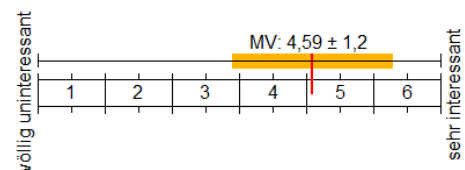
Abbildung 227: Mittelwerte der Antworten auf die Frage IV C 1 a bis j nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 2:

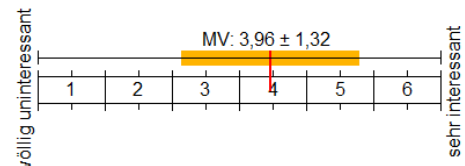
Wie gut verständlich wurden die Inhalte vermittelt?

10 Teilfragen (a bis j)

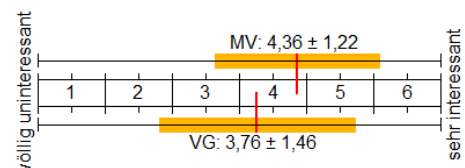
a) Besuch der Polizei zum Einstieg
Bewertungsskala, 1 bis 6



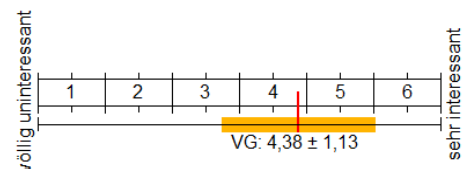
b) Auswertung eines polizeilichen Unfallberichtes
Bewertungsskala, 1 bis 6



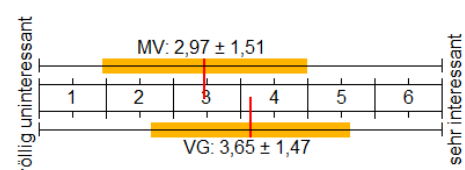
c) Schülerversuche / Lernstationen
Bewertungsskala, 1 bis 6



d) Lehrerexperimente / frontal
Bewertungsskala, 1 bis 6



e) Mathematische Auswertungen / Herleitung von Formeln
Bewertungsskala, 1 bis 6



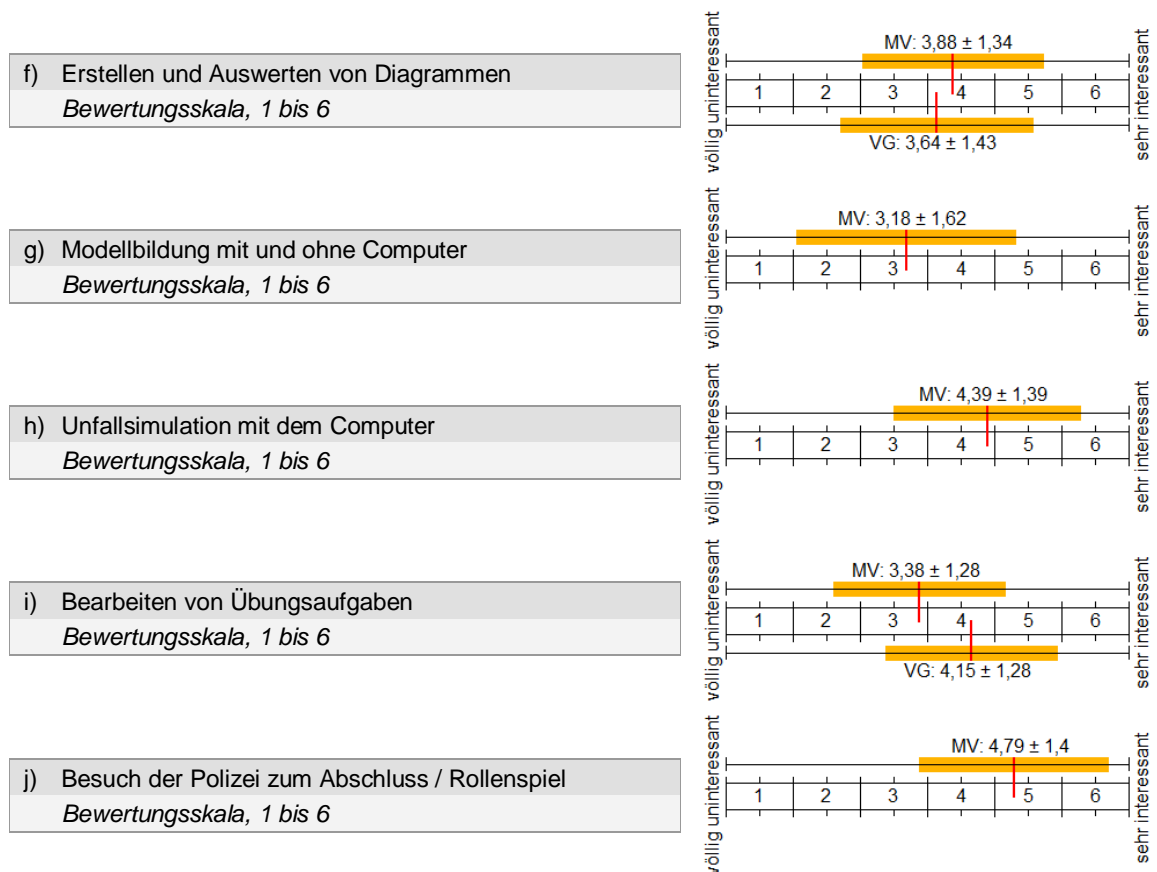


Abbildung 228: Mittelwerte der Antworten auf die Frage IV C 2 a bis j nach Gruppenzugehörigkeit.

Frage 3:

Hat Ihnen – alles in allem – die Unterrichtsreihe gefallen?

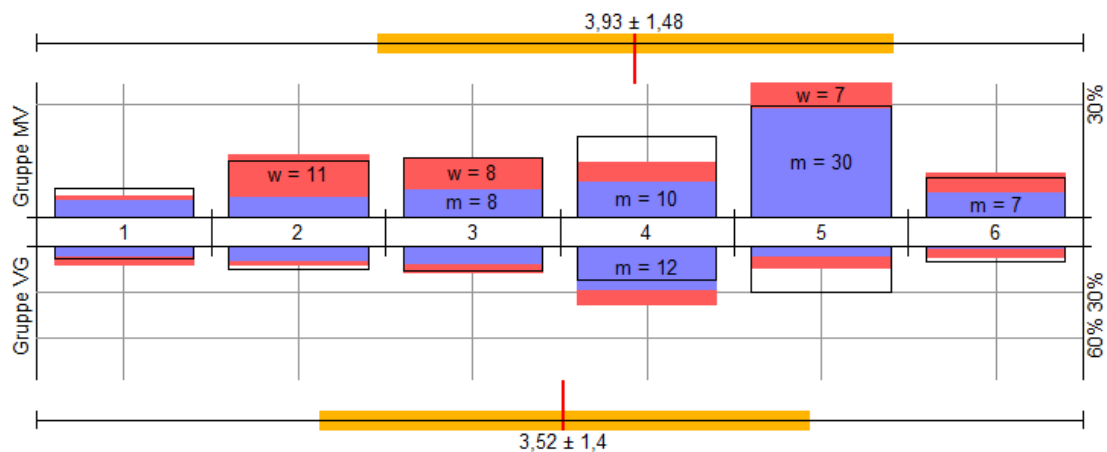
Metrische Skala, 1 bis 6

Abbildung 229: Antworten auf Frage IV B 3 a bis I nach Gruppenzugehörigkeit sowie nach Geschlecht.

4.2.3 Überprüfung der Hypothesen

Nachdem die Ergebnisse des Fragebogens im Überblick dargestellt und einer ersten Grobauswertung unterzogen wurden, werden nun die anfänglichen Hypothesen wieder aufgegriffen. Ziel dieses Abschnittes ist es, die vermutete Wirksamkeit der durchgeführten Unterrichtsreihe sowie der verwendeten Software anhand der vorliegenden Ergebnisse zu überprüfen.

Hierzu wird jeder der in Abschnitt 4.1.1.2 formulierten Arbeitshypothesen eine Gruppe von Fragen zugeordnet. Die Fragen werden entsprechend ihres Schwierigkeitsgrades, ihres Umfangs und ihrer Relevanz gewichtet und mit entsprechenden Gewichtungsfaktoren versehen. Anhand dieser Zusammenstellung kann für jeden Schüler ein Bewertungsindex berechnet werden, der angibt, in welchem Maß er die in der jeweiligen Hypothese beschriebenen Fähigkeiten oder Eigenschaften aufweist. Werden diese Werte jeweils für die Schüler der Gruppen MV und VG gemittelt, lässt sich damit unmittelbar eine erste Überprüfung der Hypothese durchführen.

Danach wird jede der Hypothesen einem χ^2 -Unabhängigkeitstest (siehe Abschnitt 4.2.1.3) unterzogen, um eine quantitative Aussage über den vermuteten Zusammenhang treffen zu können. Hierzu werden teilweise Indexwerte oder Merkmalsausprägungen zu Gruppen zusammengefasst, in der Regel zu Vierfeldertafeln. Hierdurch wird einerseits die Zahl der Freiheitsgrade reduziert, andererseits werden die Häufigkeitswerte in den einzelnen Zellen größer. Beides ist vorteilhaft für die Aussagekraft der Auswertung.

Wünschenswert für die Vergleichbarkeit zweier Gruppen ist es, wenn möglichst viele Merkmale, die das Ergebnis der Messgrößen beeinflussen könnten, symmetrisch in beiden Gruppen verteilt sind. Dies ist bei den Gruppen MV und VG in Bezug auf die Schulform leider nicht gegeben, da nur in der Gruppe MV ein Berufskolleg vertreten ist. Eine ursprünglich für die Vergleichsgruppe vorgesehene Schule stellte sich kurz vor der Befragung aus formalen Gründen als ungeeignet heraus. Um einen verfälschenden Einfluss dieser Gegebenheit auf die Ergebnisse auszuschließen, wird jede Hypothese sowohl für die vollständige Stichprobe, als auch unter Ausschließung der Schüler des Berufskollegs überprüft.

In Abschnitt 4.2.3.6 werden die Ergebnisse der Auswertung schließlich noch einmal zusammengefasst.

4.2.3.1 Hypothese H1

a) Erläuterung der Hypothese

Hypothese H1: „Die Schüler der Gruppe MV (...) *reproduzieren die grundlegenden physikalischen Definitionen und Zusammenhänge mindestens genau so gut wie die Schüler der Vergleichsgruppe VG (...).*“

Jedes neue Unterrichtskonzept, das die knapp bemessene Unterrichtszeit mit zusätzlichen Methoden, Inhalten und Querbezügen belastet, läuft Gefahr, die im traditionellen Unterricht vermittelten Inhalte dafür zu vernachlässigen. Obwohl es keineswegs selbstverständlich ist, dass eine solche Vernachlässigung in pädagogischer oder physikdidaktischer Hinsicht einen Nachteil darstellt, so kann sie sich doch negativ auf die Akzeptanz eines Konzeptes auswirken.

Daher wurde unter Einbeziehung der beteiligten Lehrer eine Liste von Inhalten erarbeitet, die nach Absolvierung des traditionellen Unterrichts von den Schülern gelernt worden sein sollten. Insbesondere auf diese Inhalte bezieht sich die Formulierung in der Hypothese H1. Wird die Hypothese gestützt, darf damit zugleich vermutet werden, dass die traditionellen Unterrichtsinhalte zu dem gewählten Sachgebiet durch das neue Konzept nicht vernachlässigt werden.

b) Zuordnung und Gewichtung der Fragen

Die Hypothese zielt also auf die Reproduktion grundlegender physikalischer Definitionen und Zusammenhänge. Zur Überprüfung eignen sich daher alle Fragen aus dem Bereich III A des Fragebogens. Sie werden entsprechend ihres Schwierigkeitsgrades gewichtet - 1 Punkt für Definitionen, 2 Punkte für Zusammenhänge - und bilden zusammen den Bewertungsindex I_1 :

▪ Frage [III A 1]	-	2	Teilfragen	-	2	Punkte
▪ Frage [III A 2]	-	2	Teilfragen	-	2	Punkte
▪ Frage [III A 3]	-	1	Teilfragen	-	1	Punkt
▪ Frage [III A 4]	-	1	Teilfragen	-	1	Punkt
▪ Frage [III A 5]	-	3	Teilfragen	-	6	Punkte
▪ Frage [III A 6]	-	3	Teilfragen	-	6	Punkte
▪ Frage [III A 7]	-	2	Teilfragen	-	4	Punkte
▪ Frage [III A 8]	-	3	Teilfragen	-	6	Punkte
▪ Frage [III A 9]	-	3	Teilfragen	-	6	Punkte
▪ Frage [III A 10]	-	3	Teilfragen	-	6	Punkte
<hr/>						
▪ Gesamt:		23	Teilfragen	-	40	Punkte

c) *Darstellung und Interpretation der Ergebnisse*

Zunächst wird für jeden Schüler aus der Zusammenstellung und Gewichtung der Fragen ein individueller Wert für den Index I_1 bestimmt. Dieser kann als Maß für die Erreichung der Lernziele hinsichtlich der grundlegenden physikalischen Definitionen und Zusammenhänge angesehen werden. Die Hypothese lautet nun, dass Schüler der Gruppe MV hierbei mindestens genau so gut abschneiden wie die Schüler der Gruppe VG.

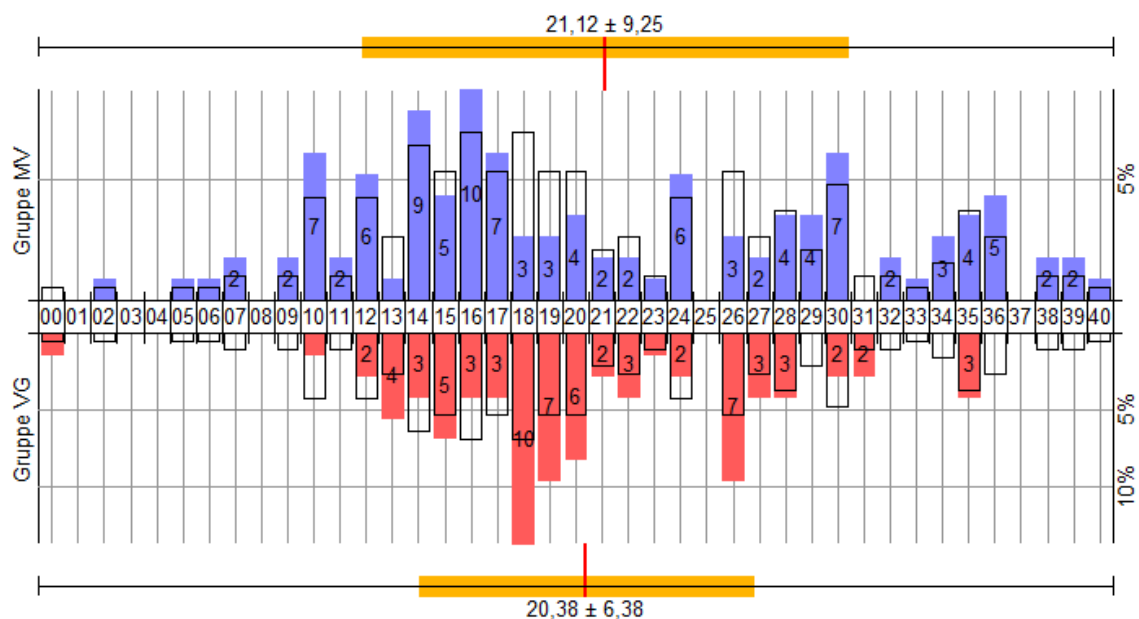


Abbildung 230: Verteilung der Ergebnisse für Hypothese H1 in Abhängigkeit von der Zugehörigkeit zu den Gruppen MV und VG.

Wie in Abbildung 230 zu sehen ist, haben die Schüler der Gruppe MV also mit I_1 (MV) = 21,12 sogar einen etwas höheren Wert erzielt als die Schüler der Vergleichsgruppe mit I_1 (VG) = 20,38, was die Hypothese zunächst stützt.

Auffällig ist dabei allerdings eine wesentlich größere Standardabweichung für die Gruppe MV, was auf die breite Streuung der Werte zurückzuführen ist. Offenbar liegen die Ergebnisse der Vergleichsgruppe dichter im Mittelfeld beieinander. Bei der Suche nach den Ursachen lohnt ein Blick auf das Diagramm in Abbildung 231. Hier ist die Verteilung um die Zugehörigkeit zu den einzelnen Schulformen erweitert worden. Dadurch lässt sich leicht erkennen, dass die niedrigeren Indexwerte der Gruppe MV im Wesentlichen durch die Schüler des Berufskollegs getragen werden. Da diese Schulform in der Vergleichsgruppe nicht vertreten ist, lässt sich damit die größere Streubreite in der Gruppe MV erklären. Außerdem wären die relativen Ergebnisse der Gruppe MV bei symmetrischer Verteilung der Schulformen vermutlich noch besser ausgefallen, was im nachfolgenden χ^2 -Test überprüft wird.

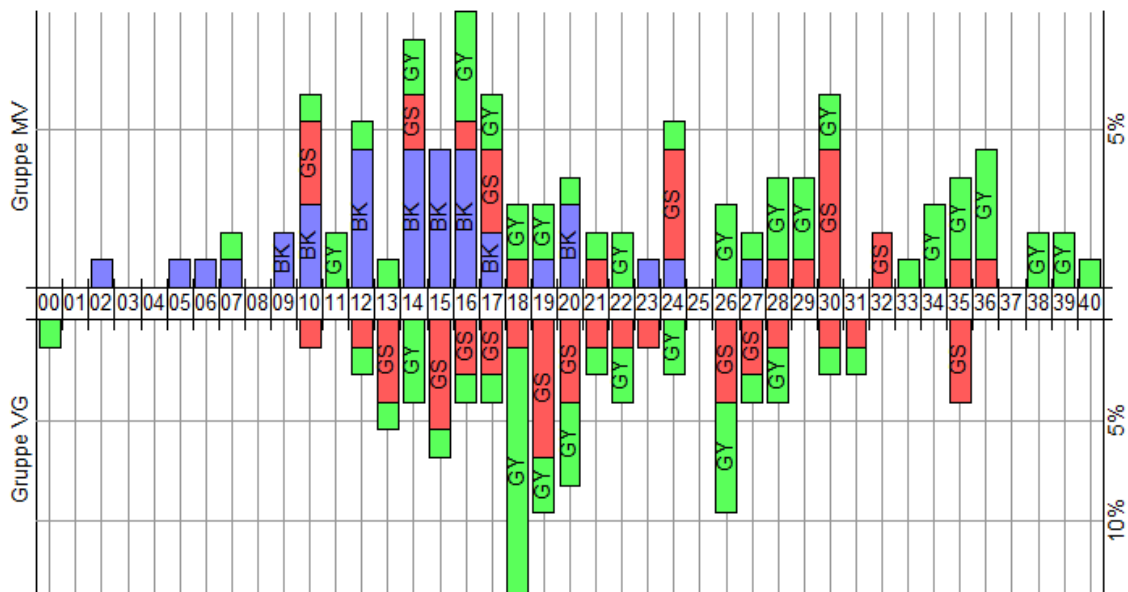


Abbildung 231: Verteilung der Ergebnisse für Hypothese H1 in Abhängigkeit von der Zugehörigkeit zu den Gruppen MV und VG sowie Schulform (GY = Gymnasium, GS = Gesamtschule, BK = Berufskolleg).

d) *Ermittlung der Irrtumswahrscheinlichkeit*

Die bisherigen Analysen legen also einerseits die Vermutung nahe, dass die Nullhypothese nicht beizubehalten sei, und andererseits, dass die Ergebnisse in starkem Maße mit der Schulform zusammenhängen. Beides soll nun durch einen χ^2 -Test überprüft werden.

Hierzu werden zunächst die Werte für den Index I_1 in zwei Gruppen eingeteilt: In die erste Gruppe gelangen alle Schüler mit besonders guten Ergebnissen im oberen Drittel der Punktzahlen, in die zweite Gruppe gehören alle anderen Schüler. Die Ergebnisse des χ^2 -Tests sind in Abbildung 232 links dargestellt.

Außerdem wurde vermutet, dass die Schüler des Berufskollegs die Ergebnisse der Gruppe MV negativ beeinflussen. Um dies zu überprüfen, wurde der gleiche χ^2 -Test noch einmal unter Ausklammerung der Schüler des Berufskollegs durchgeführt und das Ergebnis sind in Abbildung 232 rechts dargestellt.

Wird ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ zugrunde gelegt, entspricht dies einem kritischen Wert für χ^2 von 3,84, oberhalb dessen es als gerechtfertigt angesehen werden kann, die Nullhypothese nicht beizubehalten, was mit $\chi^2 = 6,9$ aufgrund der vorliegenden Daten gegeben ist. Es darf also ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Erzielen eines guten Ergebnisses bei der Reproduktion der grundlegenden physikalischen Zusammenhänge und der Zugehörigkeit zur Gruppe MV oder VG angenommen werden. Ein Blick auf die einzelnen Felder stützt die Vermutung, dass die Ergebnisse der Gruppe MV signifikant besser sind als die Ergebnisse der Gruppe VG. Werden die Schüler des Berufskollegs nicht berücksichtigt, um eine symmetrische Verteilung der Schulformen auf die beiden Gruppen (auf Kosten der Fallzahlen) zu erreichen, steigt der Wert für χ^2 auf 18.

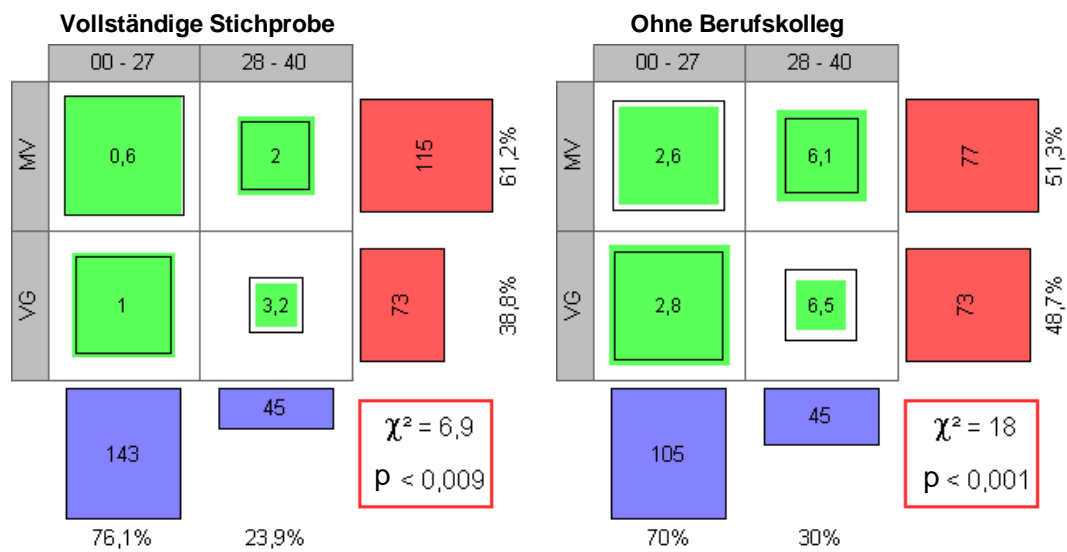


Abbildung 232: Überprüfung der Hypothese H1 mit dem χ^2 -Test. Aufgetragen ist in den Spalten das erzielte Ergebnis für den Index I₁, in den Zeilen die Zugehörigkeit zu den Gruppen MV oder VG, links unter Berücksichtigung der gesamten Stichprobe, rechts ohne die Schüler des Berufskollegs. Ergebnis: In beiden Fällen besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Erzielen guter Ergebnisse bei der Reproduktion physikalischer Grundlagen und der Gruppenzugehörigkeit.

Ergebnis:

Aufgrund der vorliegenden empirischen Daten wird die Hypothese H1 also gestützt, da der Befund mit dem Zufall (H_0) bei dem gegebenen Signifikanzniveau nicht vereinbar ist. Bei Ausklammerung der Schüler des Berufskollegs steigt die exakte Wahrscheinlichkeit des empirischen χ^2 von 0,991 auf 0,999.

4.2.3.2 Hypothese H2

a) Erläuterung der Hypothese

Hypothese H2: „Die Schüler der Gruppe MV (...) *haben weniger Schwierigkeiten beim Transfer zwischen verschiedenen Codierungen - verbale Beschreibung, Darstellung im Diagramm, mathematische Formel - desselben physikalischen Sachverhaltes* als die Schüler der Vergleichsgruppe VG (...).“

Diese Hypothese bezieht sich einerseits auf die Arbeit mit der Lernsoftware „Mechanik und Verkehr“. Eine wesentliche Eigenschaft dieser Software besteht darin, dass derselbe physikalische Vorgang parallel in verschiedenen Codierungen zur Verfügung steht (als graphisches Modell, als Diagramm und als animierte Simulation).

Andererseits bezieht sich die Hypothese auch auf die Ausgestaltung des Unterrichtskonzeptes. Darin ist es für die Schüler an mehreren Stellen erforderlich, zur Lösung eines Problems verschiedene Codierungen desselben physikalischen Zusammenhänge heranzuziehen und parallel zu verwenden.

Es besteht die Vermutung, dass diese beiden Maßnahmen den Schülern den Transfer zwischen verschiedenen Codierungen erleichtern.

b) Zuordnung und Gewichtung der Fragen

Zur Berechnung des Bewertungsindex I_2 , durch welche die Hypothese sich prüfen lassen soll, werden einige Fragen herausgegriffen, in welchen Transferleistungen in der beschriebenen Art und Weise erforderlich sind:

▪ Frage [III B 3 a]	-	12 Teilfragen	-	6 Punkte
▪ Frage [III B 3 b]	-	1 Teilfrage	-	3 Punkte
▪ Frage [IV A 5]	-	1 Teilfrage	-	3 Punkte
▪ Frage [IV A 7]	-	1 Teilfrage	-	3 Punkte
<hr/>				
▪ Gesamt:		15 Teilfragen	-	15 Punkte

In Frage III B 3 a soll eine verbale Beschreibung in ein zeichnerisches Modell mit einer eigens hierfür eingeführten Symbolsprache überführt werden, die unter anderem Pfeile enthält, die mit Operatoren versehen werden. Die Lösung wird bewertet, indem Punkte für richtige Verbindungen, Richtungen und Operatoren gegeben werden. Jede zusätzliche falsche Eintragung führt zu einem Punktabzug. Dadurch können bei dieser Frage insgesamt auch negative Werte erzielt werden.

c) *Darstellung und Interpretation der Ergebnisse*

Es wird wieder für jeden Schüler aus der Zusammenstellung und Gewichtung der Fragen ein individueller Wert für den Index I_2 gebildet, der als Maß für die Beherrschung von Transferleistungen zwischen verschiedenen Codierungen angesehen werden kann. Die Hypothese lautet nun, dass Schüler der Gruppe MV hierbei besser abschneiden als die Schüler der Gruppe VG. Die Verteilung der Ergebnisse entsprechend der Gruppenzugehörigkeit ist in Abbildung 233 dargestellt.

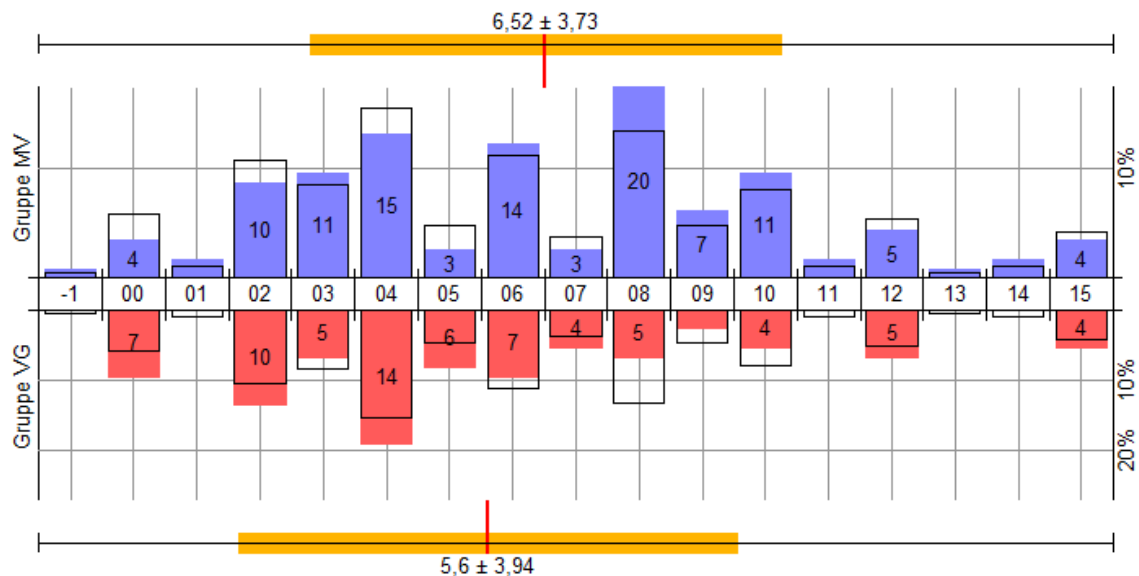


Abbildung 233: Verteilung der Ergebnisse für Hypothese H2 in Abhängigkeit von der Zugehörigkeit zu den Gruppen MV und VG.

Die Schüler der Gruppe MV haben also mit I_2 (MV) = 6,52 bei annähernd gleicher Standardabweichung einen deutlich höheren Wert erzielt als die Schüler der Vergleichsgruppe mit I_2 (VG) = 5,60, was die Hypothese zunächst stützt.

d) *Ermittlung der Irrtumswahrscheinlichkeit*

Auch in diesem Fall legen die bisherigen Analysen also die Vermutung nahe, dass die Nullhypothese nicht beizubehalten sei, was durch einen χ^2 -Test überprüft wird.

Hierzu werden zunächst die Werte für den Index I_2 in zwei Gruppen eingeteilt, diesmal etwa in der Mitte, zwischen den Werte 7 und 8 bei einem Maximum von 15 Punkten. Die Ergebnisse der χ^2 -Tests sind in Abbildung 234 dargestellt, wiederum sowohl für die gesamte Stichprobe, als auch unter Ausklammerung der Schüler des Berufskollegs.

Da $\chi^2 = 6$ den kritischen Wert von 3,84 überschreitet, kann also ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Erzielen eines guten Ergebnisses beim Transfer zwischen verschiedenen Codierungen physikalischer Sachverhalte und der Zugehörigkeit zur Gruppe MV oder VG angenommen werden. Die Nullhypothese wird daher nicht beibehalten. Ein Blick auf die einzelnen Felder stützt die Vermutung, dass die Ergebnisse der

Gruppe MV signifikant besser sind als die Ergebnisse der Gruppe VG. Bei Nichtberücksichtigung der Schüler des Berufskollegs steigt der Wert für χ^2 auf 10,4.

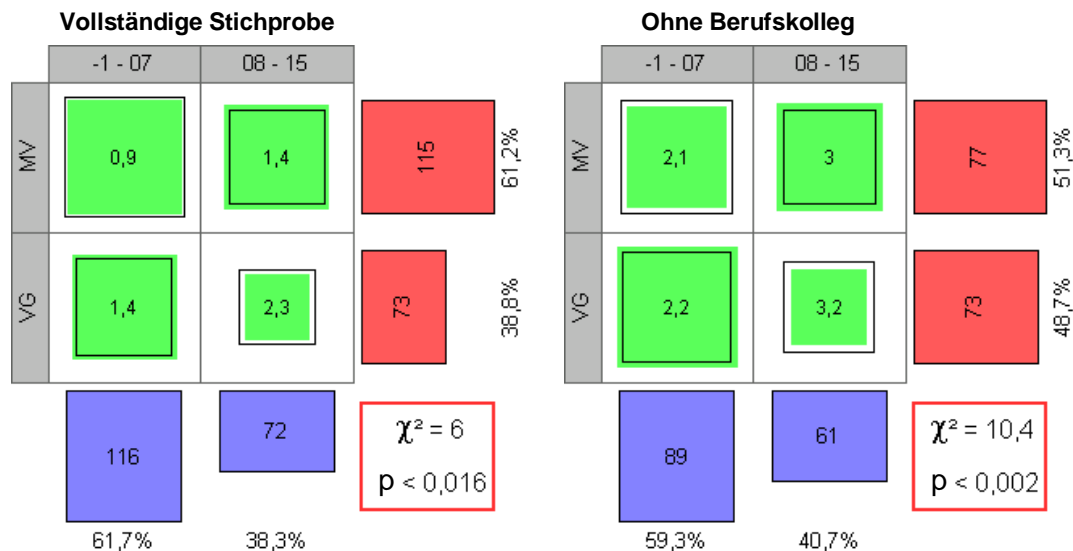


Abbildung 234: Überprüfung der Hypothese H2 mit dem χ^2 -Test. Aufgetragen ist in den Spalten das erzielte Ergebnis für den Index I_2 , in den Zeilen die Zugehörigkeit zu den Gruppen MV oder VG, links unter Berücksichtigung der gesamten Stichprobe, rechts ohne die Schüler des Berufskollegs. Ergebnis: In beiden Fällen besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Erzielen guter Ergebnisse beim Transfer zwischen verschiedenen Codierungen und der Gruppenzugehörigkeit.

Ergebnis:

Aufgrund der vorliegenden empirischen Daten wird die Hypothese H2 also gestützt, da der Befund mit dem Zufall (H_0) bei dem gegebenen Signifikanzniveau nicht vereinbar ist. Bei Ausklammerung der Schüler des Berufskollegs steigt die exakte Wahrscheinlichkeit des empirischen χ^2 von 0,984 auf 0,998.

4.2.3.3 Hypothese H3

a) Erläuterung der Hypothese

Hypothese H3: „Die Schüler der Gruppe MV (...) können Bedeutung und Beziehungen physikalischer Größen innerhalb eines Systems besser erkennen und sind sich des hypothetischen Charakters physikalischer Erkenntnisse besser bewusst als die Schüler der Vergleichsgruppe VG (...).“

Auch diese Hypothese zielt sowohl auf die Benutzung der Software, als auch auf die Gestaltung der Unterrichtsreihe: In die Software ist ein graphisches Modellbildungssystem eingebunden, mit welchem die Schüler physikalische Sachverhalte modellieren, wobei unter anderem die Bedeutung der einzelnen Größen innerhalb eines Systems und ihre Beziehung zueinander deutlich werden sollte. Außerdem wird im Unterrichtskonzept viel Wert auf wissenschaftstheoretisch fundiertes Problemlösen gelegt.

Es ist daher zu vermuten, dass die Schüler einerseits Zusammenhänge von Größen in Systemen besser erkennen, artikulieren und hinsichtlich ihrer Auswirkungen für das Gesamtsystem einschätzen können, und dass sie andererseits den Charakter physikalischer Erkenntnisse wissenschaftstheoretisch fundierter einschätzen.

b) Zuordnung und Gewichtung der Fragen

Zur Berechnung des Bewertungsindex I_3 , durch welche die Hypothese sich prüfen lassen soll, werden einige Fragen herausgegriffen, in welchen es um den hypothetischen Charakter naturwissenschaftlicher Erkenntnis oder das Verständnis des Zusammenwirkens von Größen innerhalb dynamischer Systeme geht:

▪ Frage [III A 7]	-	2 Teilfragen	-	6 Punkte
▪ Frage [III B 2]	-	1 Teilfrage	-	3 Punkte
▪ Frage [III B 3 a]	-	12 Teilfragen	-	6 Punkte
▪ Frage [III B 3 b]	-	1 Teilfrage	-	3 Punkte
<hr/>				
▪ Gesamt:		16 Teilfragen	-	18 Punkte

c) Darstellung unter Interpretation der Ergebnisse

Wieder wird für jeden Schüler aus der Zusammenstellung und Gewichtung der Fragen ein individueller Wert für den Index I_3 gebildet, der als Maß für das Verständnis von Modellen und der Natur physikalischer Erkenntnisse angesehen werden kann. Die Hypothese lautet nun, dass Schüler der Gruppe MV hierbei besser abschneiden als die Schüler der Gruppe VG. Die Verteilung der Ergebnisse entsprechend der Gruppenzugehörigkeit ist in Abbildung 235 dargestellt.

Die Schüler der Gruppe MV haben also mit $I_3 (MV) = 5,28$ bei annähernd gleicher Standardabweichung einen deutlich höheren Wert erzielt als die Schüler der Vergleichsgruppe mit $I_3 (VG) = 3,79$, was die Hypothese zunächst stützt.

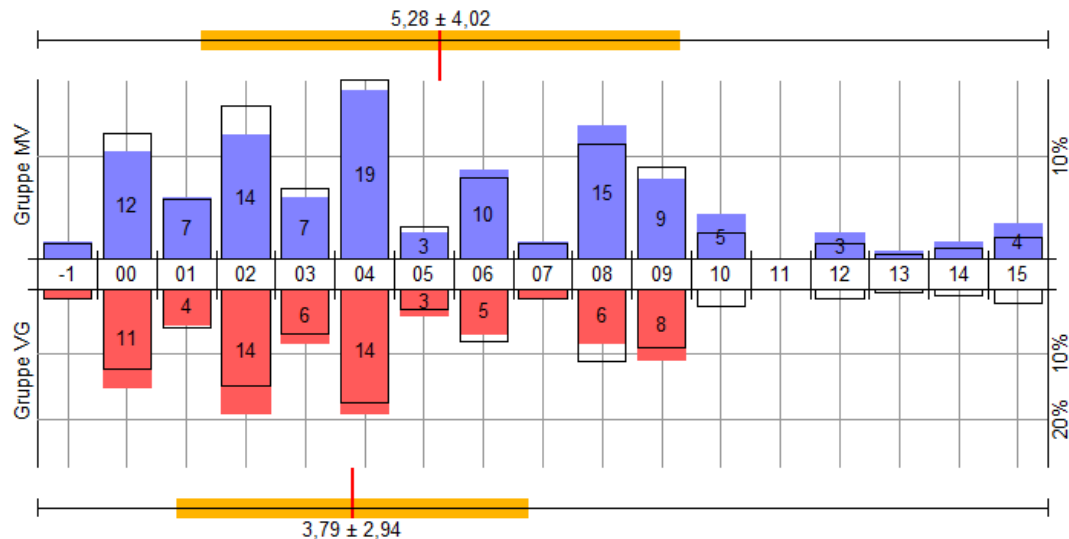


Abbildung 235: Verteilung der Ergebnisse für Hypothese H3 in Abhängigkeit von der Zugehörigkeit zu den Gruppen MV und VG.

d) Ermittlung der Irrtumswahrscheinlichkeit

Es liegt also die Vermutung nahe, dass auch in diesem Fall die Nullhypothese nicht beizubehalten sei, was wiederum durch einen χ^2 -Test überprüft wird.

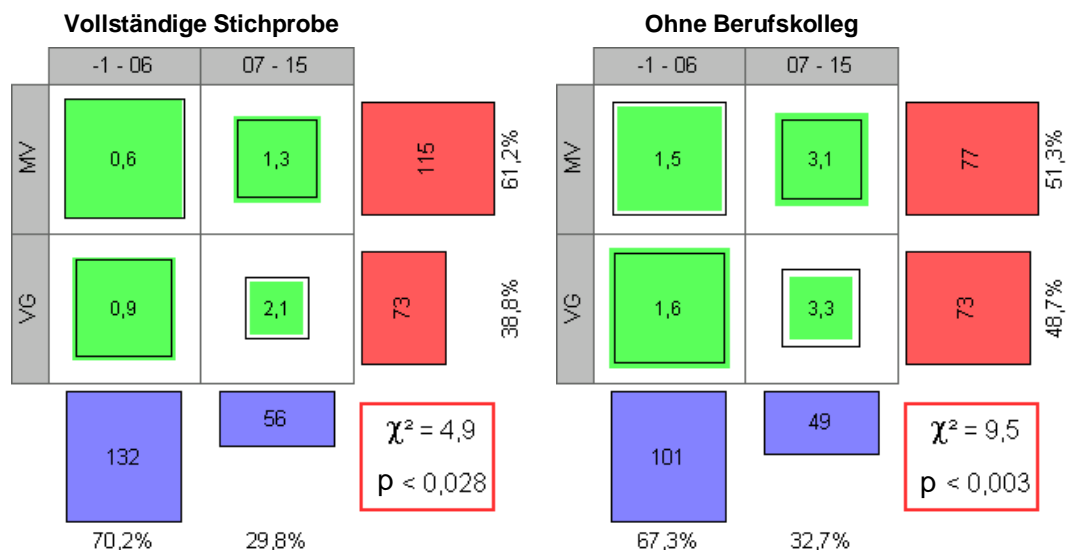


Abbildung 236: Überprüfung der Hypothese zu H3 mit dem χ^2 -Test. Aufgetragen ist in den Spalten das erzielte Ergebnis für den Index I_3 , in den Zeilen die Zugehörigkeit zu den Gruppen MV oder VG, links unter Berücksichtigung der gesamten Stichprobe, rechts ohne die Schüler des Berufskollegs. Ergebnis: In beiden Fällen besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ergebnis bei der Erstellung, Zuordnung, Interpretation und wissenschaftstheoretischen Einordnung physikalischer Modelle und der Zugehörigkeit zu den Gruppen MV oder VG.

Hierzu werden wieder 2 Gruppen gebildet, indem die Werte für den Index I_3 in 2 gleich große Intervalle geteilt werden, sowohl mit als auch ohne Berücksichtigung der Schüler des Berufskollegs. Die Ergebnisse der χ^2 -Tests sind in Abbildung 234 dargestellt.

Der anhand der Verteilung und des Mittelwertes vermutete Zusammenhang, dass die Schüler der Gruppe MV höhere Werte erzielen als die Schüler der Vergleichsgruppe, wird durch die Vierfeldertafel gestützt.

Da $\chi^2 = 4,9$ den kritischen Wert von 3,84 überschreitet, kann ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Erzielen eines guten Ergebnisses bei der Erstellung, Zuordnung, Interpretation und wissenschaftstheoretischen Einordnung physikalischer Modelle und der Zugehörigkeit zur Gruppe MV oder VG angenommen werden. Die Nullhypothese wird daher nicht beibehalten. Bei Nichtberücksichtigung der Schüler des Berufskollegs steigt der Wert für χ^2 auf 9,5.

Ergebnis:

Aufgrund der vorliegenden empirischen Daten wird die Hypothese H3 also gestützt, da der Befund mit dem Zufall (H_0) bei dem gegebenen Signifikanzniveau nicht vereinbar ist. Bei Ausklammerung der Schüler des Berufskollegs steigt die exakte Wahrscheinlichkeit des empirischen χ^2 von 0,972 auf 0,998.

4.2.3.4 Hypothese H4

a) Erläuterung der Hypothese

Hypothese H4: „Die Schüler der Gruppe MV (...) *sind besser in der Lage, physikalische Kenntnisse zur Lösung lebensweltlicher Probleme - insbesondere aus dem Straßenverkehr - anzuwenden* als die Schüler der Vergleichsgruppe VG (...).“

Bei dieser Hypothese geht es um Bezug zur Lebenswelt der Schüler, welcher durch die konsequente Ausrichtung der Unterrichtsreihe auf den Kontext „Teilnahme am Straßenverkehr“ - unter besonderer Berücksichtigung der spezifischen Situation junger Fahrer - hergestellt werden soll. Außerdem geht es um die problemorientierte Gestaltung des Unterrichts durch die Analyse eines polizeilichen Unfallberichtes.

Hintergrund ist das Problem, dass die Schüler kaum Bezug zwischen dem traditionellen Physikunterricht und ihrer Lebenswelt sehen und Schwierigkeiten haben, ihr Wissen in lebensweltlichen Kontexten anzuwenden.

In der Hypothese wird angenommen, dass die Gestaltung der vorgestellten Unterrichtsreihe geeignet ist, den Schülern nicht nur mögliche Verbindungen zwischen der Physik und ihrer Erfahrungswelt aufzuzeigen, sondern auch zur Anwendung ihrer physikalischen Kenntnisse zur Lösung realer, lebensweltlicher Probleme zu befähigen. Zumindest sollte das vorgestellte Unterrichtskonzept hierin dem traditionellen Physikunterricht überlegen sein.

b) Zuordnung und Gewichtung der Fragen

Zur Berechnung des Bewertungsindex I_4 zur Überprüfung der Hypothese H4 werden die im Folgenden aufgeführten Fragen herangezogen und durch die Vergabe unterschiedlicher Maximalpunktzahlen entsprechend ihres Umfangs und ihrer Relevanz gewichtet. Die meisten Fragen stammen dabei aus dem Bereich IV A des Fragebogens, der sich explizit mit physikalischen Problemen im Straßenverkehr beschäftigt.

▪ Frage [III B 3 a]	-	12 Teilfragen	-	6 Punkte
▪ Frage [III B 3 b]	-	1 Teilfrage	-	3 Punkte
▪ Frage [IV A 1]	-	6 Teilfragen	-	6 Punkte
▪ Frage [IV A 2]	-	2 Teilfragen	-	2 Punkte
▪ Frage [IV A 3]	-	1 Teilfrage	-	2 Punkte
▪ Frage [IV A 4]	-	1 Teilfrage	-	3 Punkte
▪ Frage [IV A 6]	-	6 Teilfragen	-	12 Punkte
▪ Frage [IV A 8]	-	1 Teilfrage	-	2 Punkte
<hr/>				
▪ Gesamt:		30 Teilfragen	-	36 Punkte

c) *Darstellung und Interpretation der Ergebnisse*

Auch zur Überprüfung der Hypothese H4 wird für jeden Schüler aus der Zusammenstellung und Gewichtung der Fragen ein individueller Wert für den Index I_4 gebildet, der als Maß für die Fähigkeit zur Anwendung physikalischer Kenntnisse zur Lösung lebensweltlicher Probleme aus dem Kontext Straßenverkehr angesehen werden kann. Die Hypothese lautet, dass Schüler der Gruppe MV hierbei bessere Ergebnisse erzielen als die Schüler der Gruppe VG. Die Verteilung der Ergebnisse entsprechend der Gruppenzugehörigkeit ist in Abbildung 237 dargestellt.

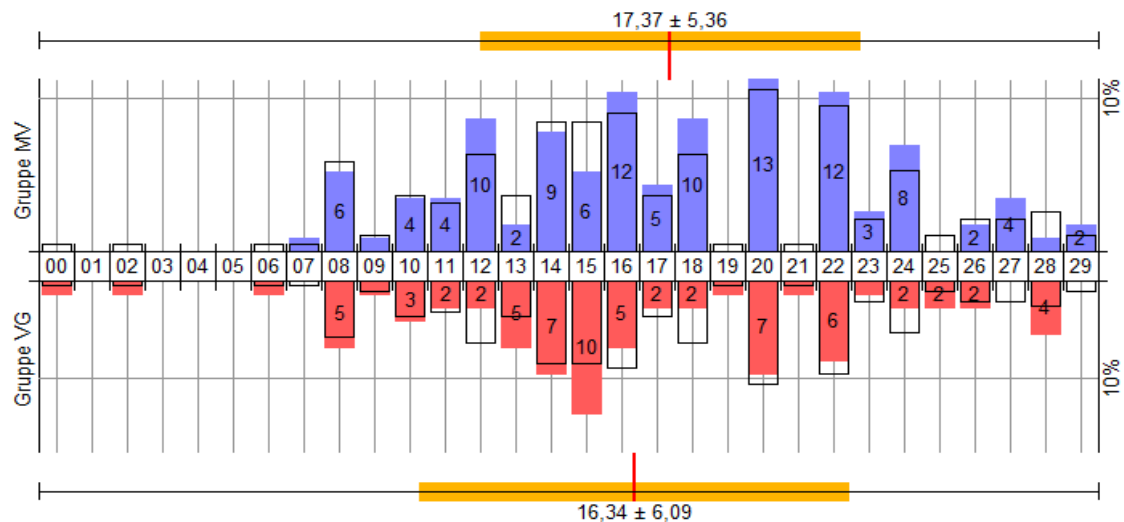


Abbildung 237: Verteilung der Ergebnisse für Hypothese H4 in Abhängigkeit von der Zugehörigkeit zu den Gruppen MV und VG.

Somit haben die Schüler der Gruppe MV mit einem mittleren Ergebnis von I_4 (MV) = 17,37 einen höheren Wert erzielt als die Schüler der Vergleichsgruppe mit I_4 (VG) = 16,34, was die Hypothese zunächst stützt.

d) *Ermittlung der Irrtumswahrscheinlichkeit*

Aufgrund der bisherigen Analyse könnte es also auch in diesem Fall gerechtfertigt sein, die Nullhypothese nicht beizubehalten, was durch einen χ^2 -Test zu überprüfen ist.

Hierzu werden die möglichen Werte für den Index I_4 etwa in der Mitte in zwei Gruppen eingeteilt, welche einem guten oder schlechten Ergebnis bei der Beantwortung der Fragen entsprechen. Die Ergebnisse des χ^2 -Tests sind in Abbildung 238 dargestellt, sowohl mit als auch ohne die Schüler des Berufskollegs.

Ein Blick auf die dargestellten Quadrate zeigt, dass die Schüler der Gruppe MV bessere Ergebnisse erzielen als die Schüler der Vergleichsgruppe.

Da $\chi^2 = 3,9$ den kritischen Wert von 3,84 überschreitet, kann vermutet werden, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Erzielen eines guten Ergebnisses bei der Anwendung physikalischer Kenntnisse zur Lösung von Problemen aus dem lebensweltlichen Kontext Straßenverkehr und der Zugehörigkeit zur Gruppe MV oder VG besteht.

Die Nullhypothese wird daher nicht beibehalten. Bei Nichtberücksichtigung der Schüler des Berufskollegs steigt der Wert für χ^2 auf 6,7.

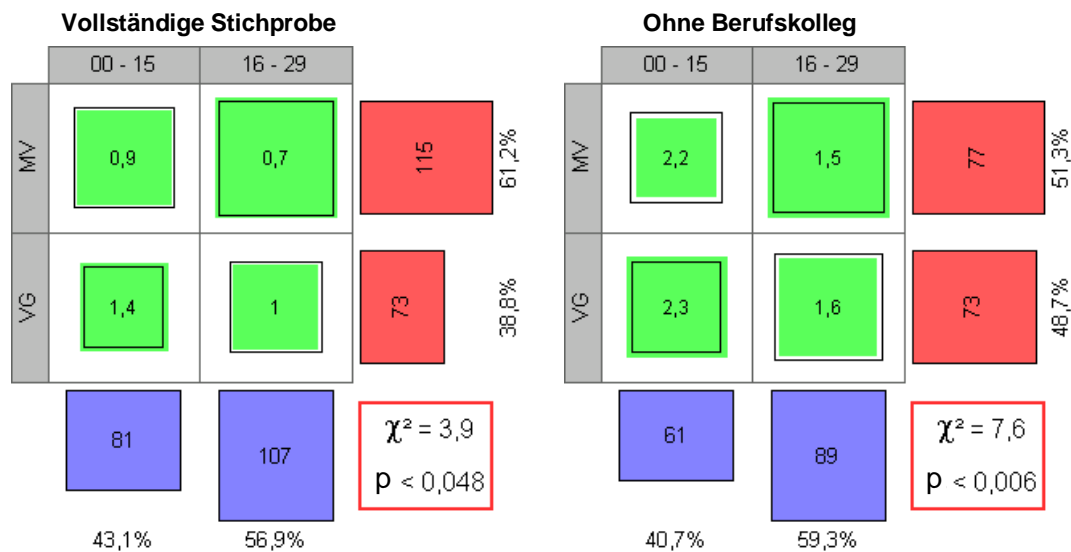


Abbildung 238: Überprüfung der Hypothese H4 mit dem χ^2 -Test. Aufgetragen ist in den Spalten das erzielte Ergebnis für den Index I_4 , in den Zeilen die Zugehörigkeit zu den Gruppen MV oder VG, links unter Berücksichtigung der gesamten Stichprobe, rechts ohne die Schüler des Berufskollegs. Ergebnis: In beiden Fällen besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Erzielen guter Ergebnisse bei der Anwendung physikalischer Kenntnisse zur Lösung lebensweltlicher Probleme aus dem Kontext Straßenverkehr und der Gruppenzugehörigkeit.

Ergebnis:

Aufgrund der vorliegenden empirischen Daten wird die Hypothese H4 also gestützt, da der Befund mit dem Zufall (H_0) bei dem gegebenen Signifikanzniveau nicht vereinbar ist. Bei Ausklammerung der Schüler des Berufskollegs steigt die exakte Wahrscheinlichkeit des empirischen χ^2 von 0,952 auf 0,994.

4.2.3.5 Hypothese H5

a) Erläuterung der Hypothese

Hypothese H5: „Die Schüler der Gruppe MV (...) *schätzen die Gefährlichkeit bestimmter Verhaltensweisen im Straßenverkehr - insbesondere des Fahrens mit hoher Geschwindigkeit - realistischer ein und unterliegen seltener Kontrollillusionen* als die Schüler der Vergleichsgruppe VG (...).“

Die letzte Hypothese beschäftigt sich mit der Gefahreinschätzung der Schüler.

Im Unterricht werden an mehreren Stellen die Gefahren des Straßenverkehrs in den Blick genommen: Bei den Besuchen der Polizisten wird erst die besonders hohe Unfallgefahr junger Fahrer thematisiert, später werden konkrete Handlungsperspektiven zur Vermeidung oder Bewältigung gefährlicher Situationen erarbeitet. Außerdem wird ein polizeilicher Unfallbericht analysiert, der Unfallhergang mit dem Computer unter Nutzung physikalischer Modelle simuliert und schließlich die Ursache geklärt.

In der Hypothese wird nun angenommen, dass diese thematische Ausrichtung des Unterrichts dazu beiträgt, die Wahrnehmung von Gefahren im Straßenverkehr zu verbessern. Hierzu gehört nicht nur eine realistische Einschätzung der Gefährlichkeit bestimmter Situationen oder Verhaltensweisen, sondern auch die Beseitigung der Illusion, jede Situation im Straßenverkehr kontrollieren zu können.

b) Zuordnung und Gewichtung der Fragen

In den Index I₅ zur Operationalisierung der Hypothese H5 fließen drei Hauptfragen ein, welche sich mit der Gefahreinschätzung im Straßenverkehr beschäftigen:

- Frage [IV A 4] - 2 Teilfragen - 4 Punkte
- Frage [IV A 6] - 6 Teilfragen - 6 Punkte
- Frage [IV B 2] - 5 Teilfragen - 4 Punkte

▪ Gesamt: **13 Teilfragen - 14 Punkte**

Die Bewertung von Frage IV B 2 ist erläuterungsbedürftig: In der Frage sollen verschiedene Risikofaktoren danach bewertet werden, wie häufig sie eine Rolle bei tödlichen Verkehrsunfällen spielen. Zieht man den Verkehrsunfallbericht 2004 des statistischen Bundesamtes heran (STAT-BA 2005 A), so lassen sich für 5 der angegebenen „Risikofaktoren“ konkrete Zahlenwerte finden: Im Jahr 2004 wurden in Deutschland

- 2451 Menschen durch nicht angepasste Geschwindigkeit, (e)
- 586 Menschen durch Fahren unter Einfluss von Alkohol oder Drogen, (a)
- 475 Menschen durch Fehler beim Überholen, (d)
- 386 Menschen durch Fehler beim Abbiegen, Wenden oder Rückwärtsfahren, (f)
- 32 Menschen durch technische Mängel am Fahrzeug (c)

bei Unfällen im Straßenverkehr getötet. Da in der Bewertungsskala aber keine absoluten Fallzahlen anzugeben sind, können die Angaben nicht direkt auf ihre Richtigkeit überprüft werden. Allerdings bringen die Schüler die „Unfallursachen“ durch ihre Bewertung in eine Rangfolge, die sehr wohl mit der oben angegebenen Rangfolge aufgrund der realen Fallzahlen verglichen werden kann. Für jede zutreffende Relation zweier aufeinander folgender Risikofaktoren erhalten die Schüler einen Punkt - daher sind maximal 4 Punkte für 5 Teilfragen erreichbar.

Die Frage, ob eine Kontrollillusion vorliegt, wird aus dem Index ausgeklammert und einzeln thematisiert.

c) *Darstellung und Interpretation der Ergebnisse*

Aus der Zusammenstellung und Gewichtung der Fragen wird wieder für jeden Schüler ein individueller Wert für den Index I_5 gebildet, der als Maß für die Übereinstimmung der Einschätzung der Gefährlichkeit von Situationen oder Verhaltensweisen im Straßenverkehr mit der realen Gefährlichkeit interpretiert werden kann. Die Hypothese lautet, dass Schüler der Gruppe MV dabei höhere Werte erzielen, die Gefährlichkeit also zutreffender einschätzen als die Schüler der Gruppe VG. Die Verteilung der Ergebnisse entsprechend der Gruppenzugehörigkeit ist in Abbildung 239 dargestellt.

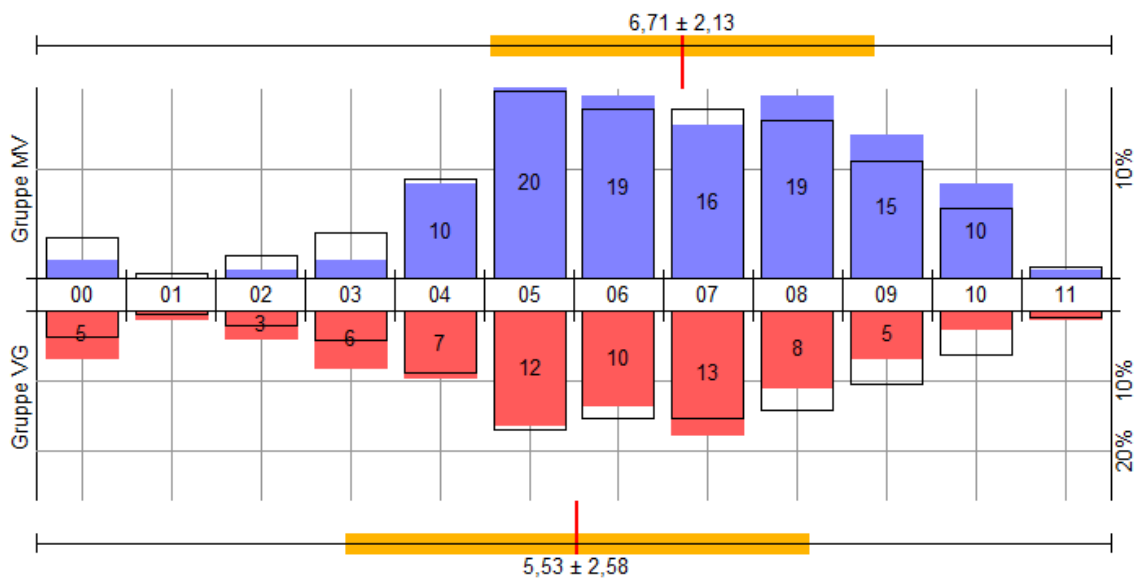


Abbildung 239: Verteilung der Ergebnisse für Hypothese H5 in Abhängigkeit von der Zugehörigkeit zu den Gruppen MV und VG.

Die Schüler der Gruppe MV haben also mit $I_5 (MV) = 6,71$ einen deutlich höheren Wert erzielt als die Schüler der Vergleichsgruppe mit $I_5 (VG) = 5,53$, was die Hypothese zunächst stützt.

d) Ermittlung der Irrtumswahrscheinlichkeit

Die bisherigen Analysen legen also wiederum die Vermutung nahe, dass die Nullhypothese zu verwerfen sei, was wiederum durch einen χ^2 -Test überprüft wird. Hierzu werden zunächst die Werte für den Index I_5 wieder in zwei Gruppen eingeteilt, die besseren und schlechteren Ergebnissen entsprechen, wiederum sowohl für die gesamte Stichprobe, als auch unter Ausklammerung der Schüler des Berufskollegs. Die Ergebnisse der χ^2 -Tests sind in Abbildung 240 dargestellt.

Da $\chi^2 = 6$ den kritischen Wert von 3,84 überschreitet, kann also ein signifikanter Zusammenhang zwischen der zutreffenden Einschätzung der Gefährlichkeit von Situationen und Verhaltensweisen im Straßenverkehr und der Zugehörigkeit zur Gruppe MV oder VG angenommen werden. Die Nullhypothese wird daher nicht beibehalten. Ein Blick auf die einzelnen Felder zeigt, dass die Schüler der Gruppe MV signifikant häufiger gute Ergebnisse erzielt haben. Die Ausklammerung der Schüler des Berufskollegs wirkt sich auf dieses Ergebnis kaum aus. In Bezug auf die Hypothese H5 hat die asymmetrische Verteilung der Schulformen auf die Gruppen MV und VG also offenbar keine Auswirkung.

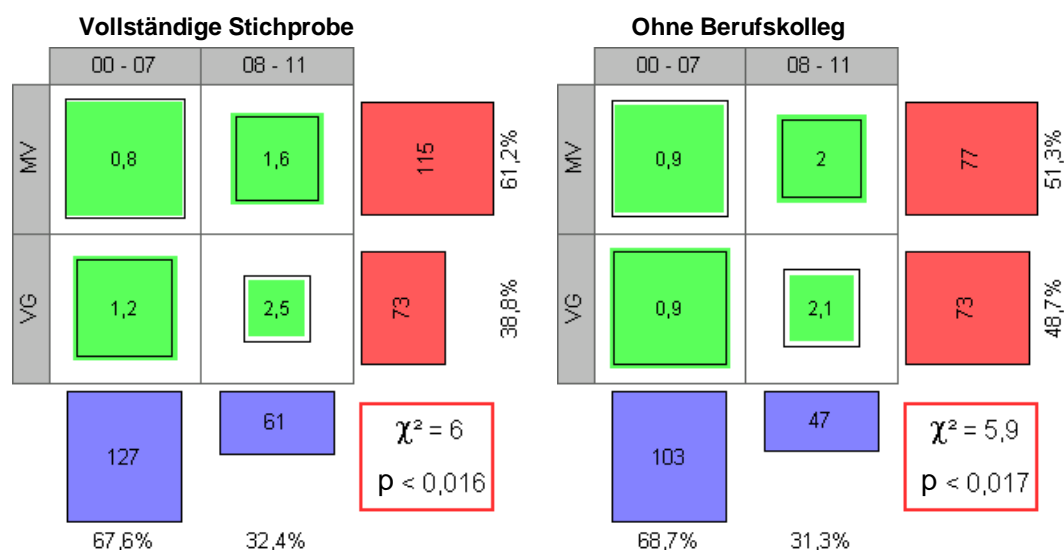


Abbildung 240: Überprüfung der Hypothese zu H5 mit dem χ^2 -Test. Aufgetragen ist in den Spalten das erzielte Ergebnis für den Index I_5 , in den Zeilen die Zugehörigkeit zu den Gruppen MV oder VG, links unter Berücksichtigung der gesamten Stichprobe, rechts ohne die Schüler des Berufskollegs. Ergebnis: In beiden Fällen besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ergebnis bei der Erstellung, Zuordnung, Interpretation und wissenschaftstheoretischen Einordnung physikalischer Modelle und der Zugehörigkeit zu den Gruppen MV oder VG.

Die Nebenhypothese, dass die Schüler der Gruppe MV die Kontrollierbarkeit von Verkehrssituationen seltener überschätzen würden, kann anhand der Fragen IV B 4 a und c untersucht werden, in welchen es um eine Fahrt auf der Autobahn mit einer Geschwindigkeit von 180 km/h geht.

Wie man in Abbildung 241 erkennen kann, ergibt sich für die erste Frage, in der nach der technischen Beherrschbarkeit dieser Geschwindigkeit gefragt wird, jedoch keinerlei Zusammenhang. Obwohl die Schüler der Gruppe MV besser die objektive Gefährlichkeit einschätzen können, sind sie offenbar trotzdem genauso oft der Meinung, die ein Fahrzeug selbst bei einer Geschwindigkeit von 180 km/h noch kontrollieren zu können. Außerdem geben sie in der zweiten Frage sogar etwas (wenn auch nicht signifikant) häufiger an, die Folgen eines möglichen Unfalls gut einschätzen zu können.

Die Erklärung liegt nicht auf der Hand. Möglicherweise bewirkt die intensive Beschäftigung mit dem Straßenverkehr und den dort auftretenden Gefahrensituationen eine positivere Einschätzung der eigenen Kompetenz in Fragen der Fahrzeugführung und Verkehrssicherheit. Diese könnte den positiven Effekt der realistischeren Gefahreinschätzung insofern kompensieren, dass sich insgesamt trotzdem keine Reduktion der Kontrollillusion einstellt. Diesem Problem sollte in zukünftigen Unterrichtsreichen mit geeigneten Maßnahmen - etwa einer fächerverbindenden Kooperation mit Kursen der Psychologie oder Sozialwissenschaften - begegnet werden.

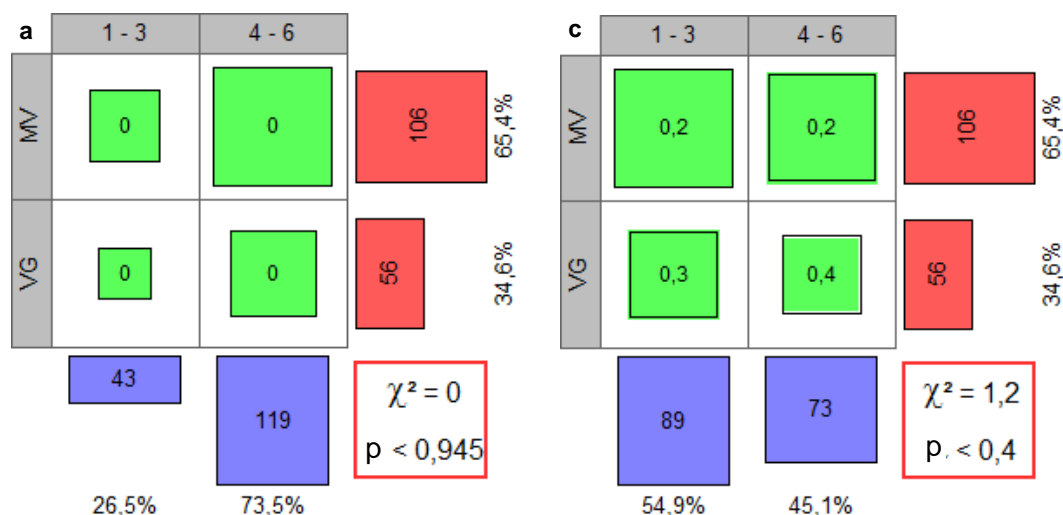


Abbildung 241: Überprüfung der Nebenhypothese zu H5, dass die Schüler der Gruppe MV seltener eine Kontrollillusion unterliegen als die Schüler der Gruppe VG mit dem χ^2 -Test. Herangezogen wurden die Fragen IV B 4 a und c (Spalten) und der Gruppenzugehörigkeit (Zeilen). In beiden Fällen besteht offenbar keine signifikante Abhängigkeit.

Ergebnis:

Aufgrund der vorliegenden empirischen Daten wird die Hypothese H5 also gestützt, da der Befund mit dem Zufall (H_0) bei dem gegebenen Signifikanzniveau nicht vereinbar ist. Bei Ausklammerung der Schüler des Berufskollegs sinkt die exakte Wahrscheinlichkeit des empirischen χ^2 von 0,984 auf 0,983.

4.2.3.6 Zusammenfassung und Fazit

Aufgrund der empirischen Daten aus der Schülerbefragung lassen sich also alle 5 in Abschnitt 4.1.1.2 formulierten Hypothesen bestätigen. In Tabelle 15 sind noch einmal alle Auswertungsergebnisse im Überblick zusammengefasst.

Hypothese	Punkte maximal	Mittel VG	Mittel MV	p-Wert	Symmetrie
H1	$I_1 = 40$	$20,38 \pm 6,38$	$21,12 \pm 9,25$	0,009	mit BK
			$24,53 \pm 8,93$	0,001	ohne BK
H2	$I_2 = 15$	$5,60 \pm 3,94$	$6,52 \pm 3,73$	0,016	mit BK
			$7,22 \pm 3,73$	0,002	ohne BK
H3	$I_3 = 18$	$3,79 \pm 2,94$	$5,28 \pm 4,02$	0,028	mit BK
			$6,16 \pm 4,09$	0,003	ohne BK
H4	$I_4 = 36$	$16,34 \pm 6,09$	$17,37 \pm 5,36$	0,048	mit BK
			$18,19 \pm 5,79$	0,006	ohne BK
H5	$I_5 = 14$	$5,53 \pm 2,58$	$6,71 \pm 2,13$	0,016	mit BK
			$6,66 \pm 2,14$	0,017	ohne BK

Tabelle 15: Zusammenfassung der Ergebnisse der Überprüfung der Hypothesen. Die erste Spalte enthält die Nummer der Hypothese, die zweite die maximal für den jeweiligen Index erreichbare Punktzahl, die dritte und vierte Spalte enthalten die arithmetischen Mittelwerte und Standardabweichungen für die beiden Gruppen MV und VG, und in der fünften Spalte ist die exakte Wahrscheinlichkeit angegeben, einen Fehler erster Art zu begehen. Die in den Spalten 4 und 5 angegebenen Werte sind jeweils sowohl für die gesamte Stichprobe („mit BK“), als auch unter Ausklammerung der Schüler des Berufskollegs („ohne BK“) angegeben.

Die in Abschnitt 4.1.1.1 formulierten Ziele, welche durch den Einsatz der Lernsoftware „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5 und die vorgestellte Unterrichtsreihe verfolgt wurden, können also als erreicht angesehen werden.

Berücksichtigt man die ungünstige Randbedingung, dass die Schulformen nicht symmetrisch auf die Gruppen MV und VG verteilt sind, so ergibt sich, dass bei Ausklammerung der nur in einer Gruppe vertretenen Schulform die exakte Wahrscheinlichkeit des empirischen χ^2 insgesamt sogar noch gesteigert wird, die Hypothesen also mit noch größerer Sicherheit als gestützt angesehen werden können.

4.2.4 Untersuchung weiterer Zusammenhänge

Die Hypothesen, welche im vorangegangenen Abschnitt überprüft wurden, treffen vergleichende Aussagen über Schüler der Gruppen MV und VG. Darüber hinaus erscheint es interessant, ob die erzielten Ergebnisse auch von anderen Faktoren abhängig sind, die nichts mit der Teilnahme an der einen oder anderen Form des Unterrichts oder der Mediennutzung zu tun haben.

In Abschnitt 4.1.1.3 wurden einige solcher möglichen Einflussfaktoren bereits genannt. Im aktuellen Abschnitt werden diese Faktoren nun zu Gruppen gebündelt und untersucht. Hierzu werden jeweils geeignete Fragen aus dem Fragebogen herangezogen und wiederum mit dem χ^2 -Unabhängigkeitstest auf mögliche Zusammenhänge zu einem der Indizes I₁ bis I₅ geprüft. Um die Untersuchung der Nebenaspekte nicht zu sehr auszuweiten, werden nur die signifikanten Zusammenhänge kurz vorgestellt und interpretiert, auf eine Darstellung der unabhängigen Merkmale wird in der Regel verzichtet.

4.2.4.1 Alter, Geschlecht & Schulform

Zunächst geht es um eher allgemeine Merkmale der Schüler, nämlich Alter, Geschlecht und die Schulformzugehörigkeit.

a) Zusammenhang zum Alter

Die interessanten Ergebnisse hinsichtlich des Zusammenhangs mit den Indizes zur Prüfung der Hypothesen und dem Alter der Schüler sind in Abbildung 242 dargestellt.

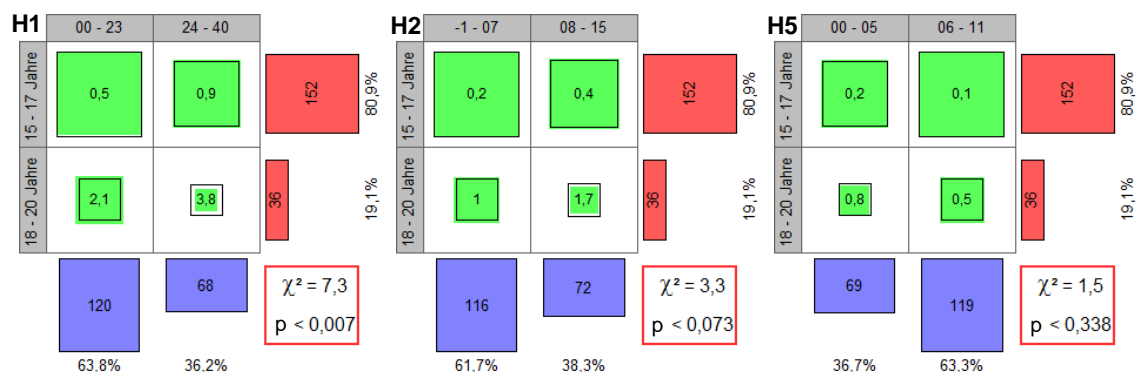


Abbildung 242: Abhängigkeit der Indizes vom Merkmal Alter. Bei den Indizes zu den Hypothesen H1 und H2 schneiden die jüngeren Schüler eindeutig besser ab, die Ergebnisse bei H3 und H4 sind vom Alter unabhängig, und beim Index zu H5 erzielen die älteren Schüler etwas bessere Ergebnisse.

Dabei fällt zunächst auf, dass die jüngeren Schüler bei den Indizes I₁ und I₂, die sich mit physikalischen Grundlagen und dem Transfer zwischen verschiedenen Codierungen beschäftigen, signifikant besser abschneiden. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Schüler, welche in der Jahrgangsstufe 11 bereits 18 Jahre alt oder sogar älter sind, mit großer Wahrscheinlichkeit im Laufe ihrer Schulzeit mindestens eine Jahrgangsstufe

wiederholt haben, was darauf hindeutet, dass sie nicht unbedingt zur Leistungsspitze gehören werden.

Auf der anderen Seite erzielen die älteren Schüler bei der Gefahrenwahrnehmung in Straßenverkehr eher bessere Ergebnisse als die jüngeren, wenn auch nicht von einem signifikanten Zusammenhang gesprochen werden kann. Dies lässt sich vermutlich darauf zurückführen, dass die älteren Schüler zum Teil bereits auf eigene Erfahrungen hinsichtlich des Führens von Kraftfahrzeugen zurückgreifen können und insofern gegenüber den jüngeren Schülern einen Erfahrungsvorsprung besitzen. Diese Vermutung wird in Abschnitt 4.2.4.3 noch einmal aufgegriffen.

b) Zusammenhang zum Geschlecht

Die Frage, ob ein Zusammenhang zwischen den erzielten Ergebnissen bei den Indizes und dem Geschlecht gibt, lässt durch einen Blick auf Abbildung 243 beantworten.

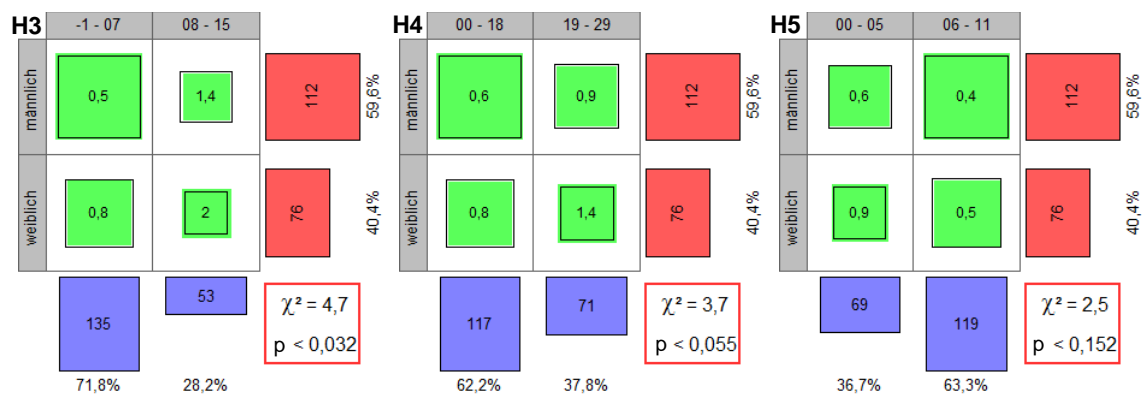


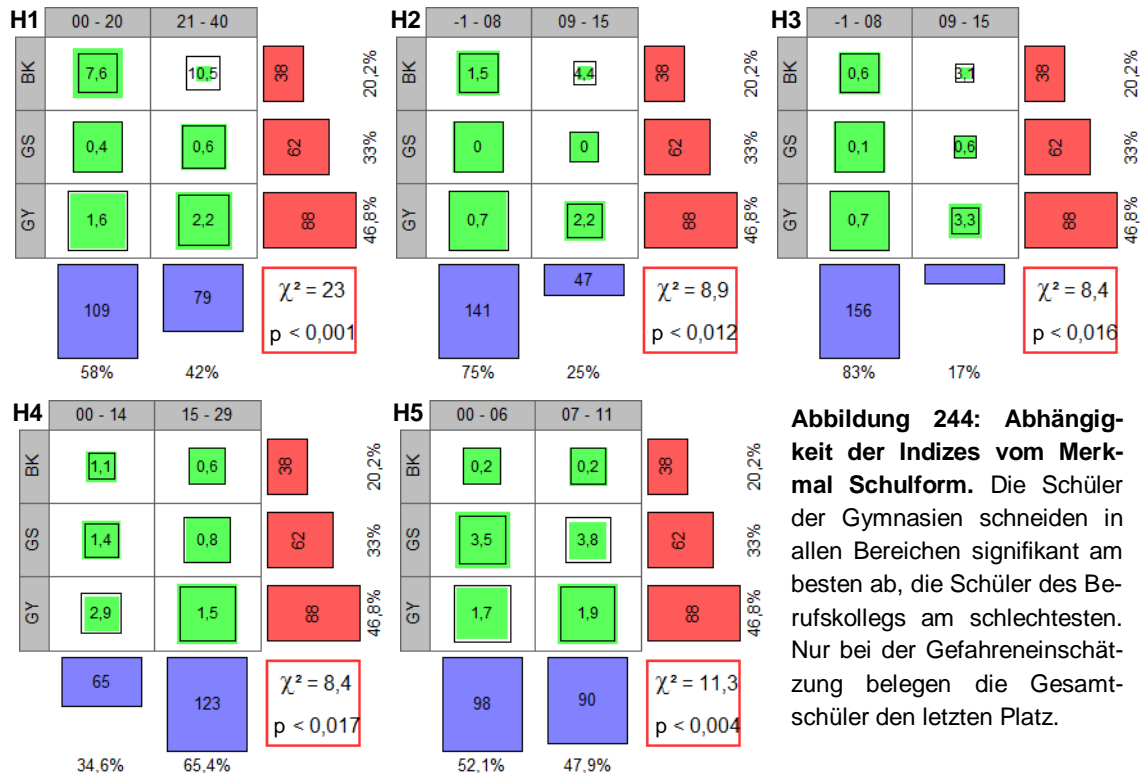
Abbildung 243: Abhängigkeit der Indizes vom Merkmal Geschlecht. Bei den Indizes zu den Hypothesen H3 und H4 schneiden die Schülerinnen eindeutig besser ab, beim Index zu H5 erzielen die männlichen Schüler etwas bessere Ergebnisse.

Sehr eindeutig erzielen die jungen Frauen bessere Ergebnisse bei den Aufgaben zur Modellbildung (H3) und etwas weniger eindeutig (und nicht signifikant) bei den Aufgaben zur Anwendung physikalischer Kenntnisse im Straßenverkehr (H4). Dafür schneiden die jungen Männer bei der Gefahrenwahrnehmung im Straßenverkehr (H5) etwas besser ab, wenn auch nicht von einem signifikanten Zusammenhang gesprochen werden kann.

Eine Erklärung liegt nicht auf der Hand. Möglicherweise könnte das bessere Ergebnis der männlichen Schüler bei der Gefahreinschätzung darauf zurückzuführen sein, dass sich die jungen Männer intensiver mit dem Autofahren auseinandersetzen und sich dadurch auch der Risiken, die sie eingehen, eher bewusst sind. Hingegen scheinen die jungen Frauen besser in der Lage zu sein, unterschiedliche gedankliche Ebenen miteinander in Beziehung zu setzen und Zusammenhänge in Systemen zu erkennen und zu artikulieren. Das Verständnis physikalischer Sachverhalte und der Transfer zwischen verschiedenen Codierungen ist - entgegen vieler Vorurteile über die physikalische Begabung von Frauen - bei beiden Geschlechtern etwa gleich ausgeprägt.

c) Zusammenhang zur Schulform

Bereits in Abschnitt 4.2.3.1 hatte sich herausgestellt, dass die Schulform offenbar einen großen Einfluss auf die Ergebnisse der Schüler haben. In Abbildung 244 wird dieser Einfluss für alle Indizes untersucht und im Überblick dargestellt.



Der Zusammenhang ist offenbar noch sehr viel eindeutiger, als erst zu vermuten war. So kann festgestellt werden, dass die Schüler der Gymnasien in allen Bereichen die besten Ergebnisse erzielen. Bei den Indizes I_1 bis I_3 belegen die Schüler des Berufskollegs eindeutig die schlechtesten Plätze, bei I_4 und I_5 sind jeweils die Schüler der Gesamtschulen schlechter platziert. In allen Fällen rechtfertigt der Wert für χ^2 bei gegebenem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$, die Nullhypothese nicht beizubehalten.

Dass sich in den Gymnasien die leistungsstärksten Schüler versammeln, war vorherzusehen und entspricht der Funktion dieser Schulform innerhalb des Schulsystems, wenn auch die Eindeutigkeit des Ergebnisses schon überraschen kann. Vergleicht man die anderen beiden vertretenen Schulformen, so können die Gesamtschüler offenbar die abstrakteren Aufgaben besser lösen, die Schüler des Berufskollegs die Aufgaben mit einem stärkeren Lebensweltbezug. Dies erscheint plausibel, da die Berufskollegs generell stärker auf einen Bezug zur Anwendung ausgerichtet sind und die Schüler vom Lebensweltbezug der Unterrichtsreihe dadurch stärker profitieren. Hinsichtlich der abstrakteren, im engeren Sinne physikalischen Aufgaben sei noch einmal auf den bereits in Abschnitt 4.2.3.1 erwähnten geringen Stellenwert verwiesen, den der Physikunterricht innerhalb des schulinternen Curriculums des Berufskollegs einnimmt.

4.2.4.2 Interesse für Physik, Technik & Computer

In diesem Abschnitt wird untersucht, ob persönliche Einstellungen unter Interessen in Bezug auf Physik, Technik oder Computer eine Rolle bei den Ergebnissen spielen, welche die Schüler bei den Indizes zur Überprüfung der Hypothesen erreichen.

a) *Interesse für Physik*

Das Interesse für Physik wird insbesondere in den Fragen II B 2 a bis g erfragt. Wendet man hier wieder für die Beziehung zu den einzelnen Indizes den χ^2 -Test an, so erhält man nur relativ wenige signifikante Zusammenhänge, welche sich sämtlich auf den Index I_1 beziehen. Diese Zusammenhänge sind in Abbildung 245 zusammengestellt.

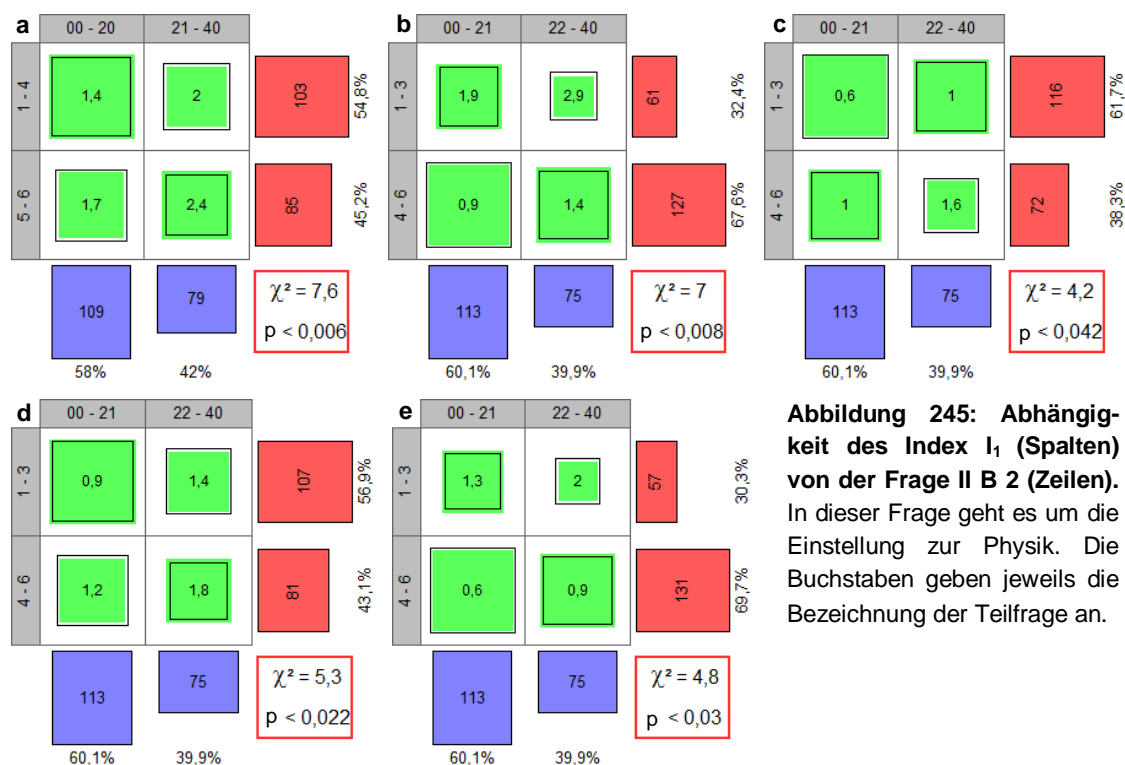


Abbildung 245: Abhängigkeit des Index I_1 (Spalten) von der Frage II B 2 (Zeilen). In dieser Frage geht es um die Einstellung zur Physik. Die Buchstaben geben jeweils die Bezeichnung der Teilfrage an.

Erwartungsgemäß geben die Schüler, die bei der Reproduktion der physikalischen Grundlagen gut abschneiden, häufiger an, dass Physik eine interessante Wissenschaft sei, dass sie sich für physikalisch begabt halten und dass sie physikalisches Wissen auch im Alltag für nützlich halten. Ob die Schüler - vorausgesetzt, es handelt sich um kausale Zusammenhänge - aufgrund ihrer positiven Einstellung erfolgreich sind oder der Erfolg zu einer positiven Einstellung führt, lässt sich allerdings nicht beantworten.

Ebenfalls stimmt mit der Erwartung überein, dass die Schüler mit den guten Ergebnissen seltener Physik als schwierig und kompliziert einschätzen. Eher unerwartet ist der Zusammenhang, dass die Schüler mit den hohen Indexwerten häufiger angeben, Physik bestehe hauptsächlich aus mathematischen Formeln. Möglicherweise ist eine solche Beschreibung für die (guten) Schüler nicht so „negativ besetzt“ wie für den Didaktiker.

b) *Interesse für Technik*

Das Interesse für Technik wird nur in der Frage II B 1 d explizit thematisiert. Wendet man wieder für die Beziehung zu den einzelnen Indizes den χ^2 -Test an, so ergibt sich nur für Index I₁ ein signifikanter Zusammenhang, der in Abbildung 246 dargestellt ist.

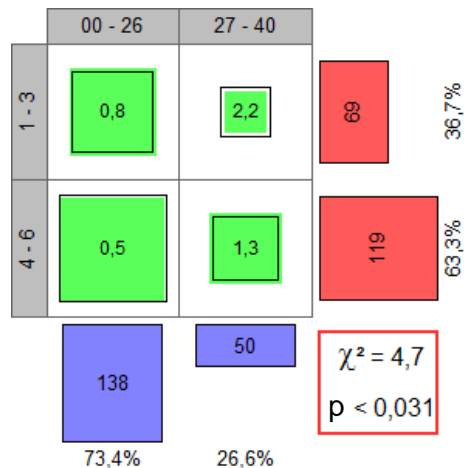


Abbildung 246: Abhängigkeit des Index I₁ (Spalten) von der Frage II B 1 d (Zeilen). In dieser Frage sollen die Schüler angeben, ob sie sich für technische Errungenschaften begeistern können. Offenbar besteht hier ein Zusammenhang zum Abschneiden bei der Reproduktion der physikalischen Grundlagen.

Schüler, die bei der Reproduktion der physikalischen Grundlagen gute Ergebnisse erzielen, geben also offenbar häufiger an, sich für technische Errungenschaften begeistern zu können. Interesse für Technik scheint also eine gute Voraussetzung zu sein, sich auch für physikalische Fragestellungen zu interessieren und erfolgreich damit zu beschäftigen.

c) *Interesse für Computer*

In dem vorgestellten Unterrichtskonzept kommt dem Computer als Lehr-Lern-Medium eine relativ wichtige Funktion zu. Derartige Ansätze bergen stets die Gefahr, Schüler mit einer Affinität zu Computern, die sich auch in ihrer Freizeit mit dem PC beschäftigen, zu bevorzugen.

Um dies auszuschließen, werden die Teilfragen a bis c der Frage II B 1 herangezogen und auf mögliche Zusammenhänge mit den erzielten Ergebnissen bei den Indizes geprüft. Da es sich um eine spezifische Gefahr des vorgestellten Unterrichtskonzeptes handelt, werden diesmal die Gruppen MV und VG einzeln untersucht.

Wie bisher in den meisten Fällen werden hierzu wieder 4-Felder-Tafeln herangezogen. Um diesen Nebenaspekt nicht unnötig auszudehnen, sind in Tabelle 16 nur die sich ergebenden p-Werte für die exakte Wahrscheinlichkeit eines Fehlers erster Art angegeben. Legt man das Signifikanzniveau wieder auf 0,05 fest, so ergibt sich, dass für beide Gruppen alle Indizes der drei genannten Fragen keine signifikanten Zusammenhänge gegeben sind. Legt man das Signifikanzniveau versuchsweise auf 0,100 fest (die entsprechenden Werte sind in der Tabelle gelb unterlegt), so ergeben sich drei schwache Zusammenhänge nur für die Gruppe VG, die aber vermutlich eher zufällig auftreten. Von den p-Werten der Gruppe MV unterschreitet keiner die Grenze von 0,100.

Frage	Gruppe	H1	H2	H3	H4	H5
II B 1 a	MV	0,336	0,944	0,438	0,932	0,494
	VG	0,950	0,151	0,950	0,773	0,916
II B 1 b	MV	0,890	0,164	0,944	0,922	0,662
	VG	0,487	0,064	0,469	0,105	0,358
II B 1 c	MV	0,105	0,745	0,457	0,374	0,451
	VG	0,469	0,070	0,226	0,209	0,067

Tabelle 16: Abhängigkeit der Indizes vom Interesse für Computer. Angegeben sind jeweils die Werte für den α -Fehler, Werte kleiner als 0,100 sind gelb markiert. Die erste Spalte gibt die Frage an, auf welche sich die Assoziation bezieht, aus der zweiten Spalte geht hervor, ob sich die Werte auf die Gruppe MV oder VG beziehen. Die restlichen Spalten gehen die Nummer der jeweiligen Bezugshypothese an.

Zusammenfassend kann man also festhalten, dass die erzielten Ergebnisse der Schüler, die an der hier vorgestellten Unterrichtsreihe teilgenommen haben, keine signifikanten Zusammenhänge mit dem Interesse für Computer und möglichen einschlägigen Vorkenntnissen aufweisen. Computeraffine Schüler werden also vermutlich durch das vorgestellte Konzept nicht bevorzugt.

4.2.4.3 Einstellung zu Kfz & Führerscheinbesitz

Sowohl die Software „Mechanik und Verkehr“, als auch die vorgestellte Unterrichtsreihe beziehen sich konsequent auf den Kontext Straßenverkehr. Es konnte gezeigt werden, dass die Schüler, die mit dieser Software und diesem Unterrichtskonzept unterrichtet wurden, besser ihre physikalischen Kenntnisse auf Aufgaben aus dem Straßenverkehr anwenden können (Hypothese H4) und Gefahren im Straßenverkehr realistischer einschätzen (Hypothese H5) als die Schüler der Vergleichsgruppe.

Die Schüler unterscheiden sich aber außerdem in ihrer Einstellung, die sie zu Kraftfahrzeugen haben, und in dem Erfahrungshintergrund hinsichtlich des Führens von Kraftfahrzeugen, auf den sie zurückgreifen können. Es ist anzunehmen, dass diese Faktoren sich ebenfalls auf die erzielten Ergebnisse auswirken.

a) Einstellung zu Kraftfahrzeugen

Das Interesse der Schüler für Kraftfahrzeuge wird insbesondere in den Fragen II B 1 e und f erfragt. Geprüft wird hier, ob eine mögliche Verknüpfung mit den erzielten Ergebnissen bei den Indizes I_4 und I_5 besteht, da sich die entsprechenden Hypothesen H4 und H5 explizit auf Probleme auf dem Straßenverkehr beziehen.

Es ergibt sich, dass zwischen den Werten für Index I_4 und den beiden Fragen keinerlei statistischer Zusammenhang besteht. Bei der Anwendung physikalischer Kenntnisse auf Probleme aus dem Straßenverkehr bietet eigenes Interesse für dieses Kraftfahrzeuge also offenbar keinerlei Vorteile.

Nur wenig anders gestaltet sich die Situation in Bezug auf Hypothese H5. Wie in Abbildung 247 zu erkennen ist, besteht auch hier kein signifikanter Zusammenhang. Es lässt sich lediglich eine sehr schwache Tendenz erkennen, dass privates Interesse für Kraftfahrzeuge bei den Ausgaben zur Gefahreinschätzung hilfreich sein könnte.

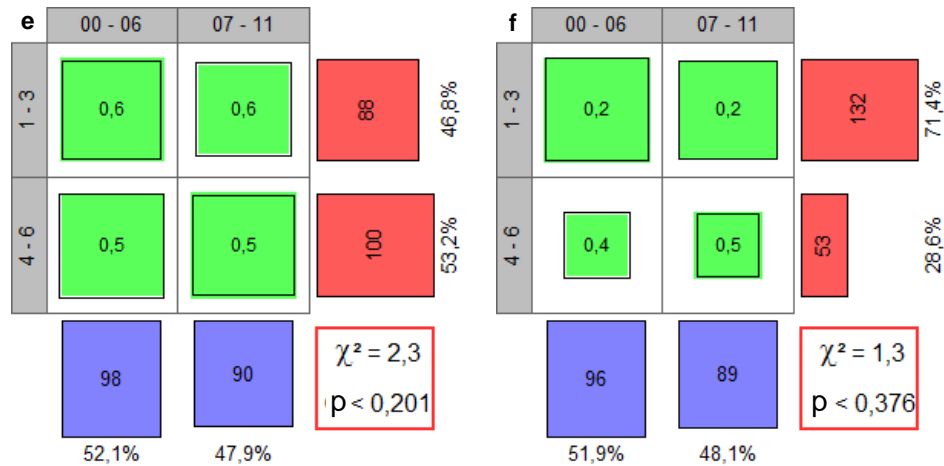


Abbildung 247: Abhängigkeit des Index I_5 (Spalten) vom Interesse für Kraftfahrzeuge (Zeilen). Die linke Grafik bezieht sich auf die Aufgabe II B 1 e, die rechte auf die Aufgabe II B 1 f. In beiden Fällen besteht nur ein sehr schwacher, jedenfalls nicht signifikanter Zusammenhang.

In jedem Fall lässt sich jedoch ausschließen, dass Schüler mit einer Affinität zu Kraftfahrzeugen durch die Wahl dieses Kontextthemas bevorzugt würden.

b) Führerschein und Fahrzeugzugriff

Schließlich ist noch die Möglichkeit zu prüfen, ob sich der individuelle Erfahrungshintergrund hinsichtlich des Führens von Kraftfahrzeugen auf die erzielten Ergebnisse bei den Indizes I_4 und I_5 auswirkt. Hierzu werden die Fragen II A 1 und 3 herangezogen.

Hinsichtlich des Besitzes eines Führerscheins oder der Absolvierung der Fahrschul Ausbildung (Frage II A 1) ergibt sich überraschender Weise keinerlei Zusammenhang. Im Gegenteil schneiden die Schüler, die zurzeit mit dem Erwerb des Führerscheins beschäftigt sind, in Bezug auf beide geprüften Indexe am schlechtesten ab. Eine Erklärung für diesen Sachverhalt scheint nicht auf der Hand zu liegen. Möglicherweise neigen Fahrschüler dazu, vorschnell vereinfachte Regeln aus der Fahrschule anzuwenden, anstatt selbst über Fragen nachzudenken und ihr Schulwissen heranzuziehen.

Der Zugriff auf ein Kraftfahrzeug, welcher mit der Möglichkeit eigener Erfahrungen assoziiert ist, scheint allerdings doch eine Rolle zu spielen. Wie aus Abbildung 248 und Abbildung 249 entnommen werden kann, ist zumindest das völlige Fehlen eines Zugriffs auf ein Fahrzeug eindeutig von Nachteil. In Bezug auf Index I_4 scheint darüber hinaus der regelmäßige Zugriff auf ein Fahrzeug besonders vorteilhaft zu sein, in Bezug auf Index I_5 der Besitz eines eigenen Fahrzeugs.

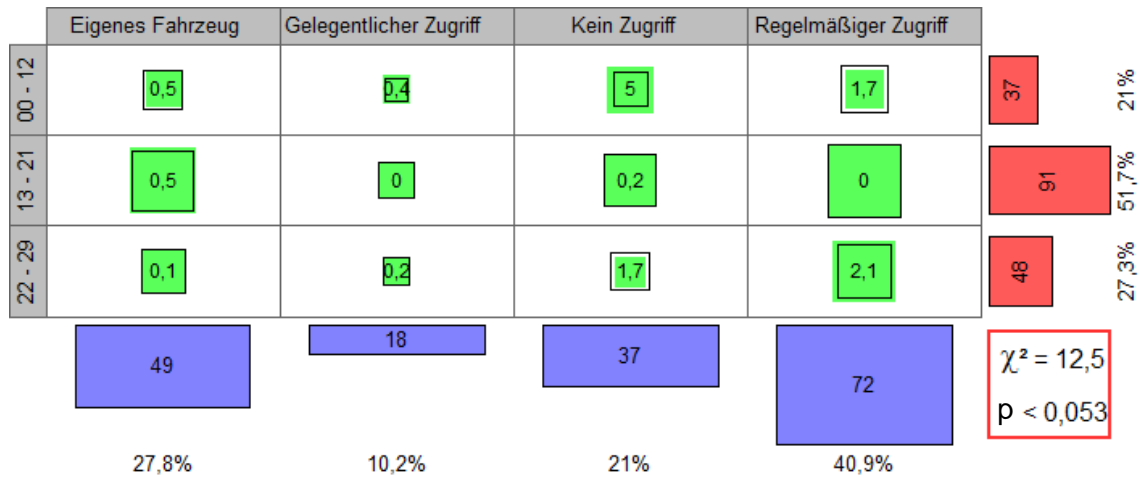


Abbildung 248: Abhängigkeit des Index I₄ (Zeilen) vom Zugriff auf ein Kraftfahrzeug (Spalten). Herangezogen wurde die Frage II A 3.

Nur für den Index I₅ kann der Zusammenhang als signifikant angenommen werden, der Index I₄ verfehlt mit $p = 0,053$ den kritischen Wert von $\alpha = 0,05$.

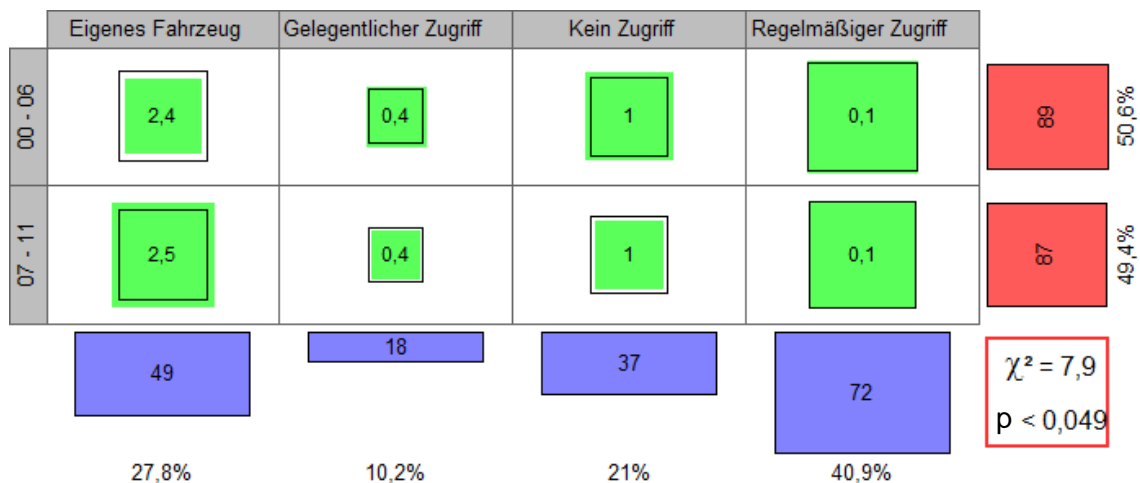


Abbildung 249: Abhängigkeit des Index I₅ (Zeilen) vom Zugriff auf ein Kraftfahrzeug (Spalten). Herangezogen wurde die Frage II A 3.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bei der Bearbeitung von Aufgaben, die mit Straßenverkehr zu tun haben, ein persönliches Interesse an dem Thema sowie die Möglichkeit eigener Erfahrungen zwar von Vorteil sein können. Eine signifikante Benachteiligung der übrigen Schüler ist aber nicht anzunehmen.

4.3 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurden eigene Entwicklungen des Autors in zwei Bereichen vorgestellt:

Erstens wurde eine Lernsoftware namens „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5 konzipiert und erstellt, welche das didaktische Potential graphischer Modellbildungssysteme und interaktiver Computersimulationen miteinander vereinen und durch zusätzliche Möglichkeiten erweitern soll. Die Software bezieht sich hierzu konsequent auf Themen aus dem Kontext Straßenverkehr und Fahrzeugtechnik, die jeweils in einzelnen Inhaltskomponenten aufbereitet werden. Die Software enthält einen eigenen, graphischen Modelleditor, welcher die Modellierung dynamischer Systeme ermöglicht. Die verwendete Symbolsprache baut - wie die meisten aktuell verfügbaren Produkte - auf Vorschlägen von Forrester auf, wurde aber vom Autor in einigen entscheidenden Aspekten für die Modellierung physikalischer Probleme optimiert und weiterentwickelt. Die erstellen physikalischen Modelle werden zur graphisch animierten Simulation der dynamischen Vorgänge aus dem lebensweltlichen Kontext genutzt.

Zweitens wurde ein Unterrichtskonzept entwickelt und in einer exemplarischen Unterrichtsreihe zum Thema „geradlinige Bewegungen“ umgesetzt. Das Konzept bezieht sich ebenfalls auf die Teilnahme am Straßenverkehr als lebensweltlichen Kontext. Hierzu wird ein realer polizeilicher Unfallbericht in den Unterricht integriert, der von den Schülern analysiert und mittels der Lernsoftware „Mechanik und Verkehr“ unter Nutzung geeigneter physikalischer Modelle hinsichtlich des Unfallhergangs simuliert wird, so dass sich die Schüler am Ende wie Sachverständige ein Urteil über die „Unfallursachen“ erlauben können. Die erforderlichen physikalischen Kenntnisse erwerben die Schüler in Lernstationen, in denen Schülerversuche durchgeführt und gemeinsam ausgewertet werden. Umrahmt wird die Unterrichtsreihe durch Besuche der Polizei. Hierdurch und mittels des konsequenten Kontextbezuges werden - neben den physikalischen Lerninhalten - auch Gefahren im Straßenverkehr, welche insbesondere junge Fahrer im Alter der teilnehmenden Schüler betreffen, thematisiert.

Die Unterrichtsreihe wurde an mehreren Schulen verschiedener Schulformen in Mülheim an der Ruhr durchgeführt. Im Anschluss wurden die Schüler um die Bearbeitung eines Fragebogens gebeten, der neben Fragen zu den physikalischen Inhalten auch Aufgaben zu Problemen aus dem Straßenverkehr, zur Gefahrenwahrnehmung, zur Modellbildung und zu persönlichen Merkmalen und Einschätzungen enthält. Zum Vergleich wurde der Fragebogen auch von Schülern mehrerer Schulen bearbeitet, die eine Unterrichtsreihe zum selben Thema absolviert haben, die aber nicht nach dem hier vorgestellten Konzept gestaltet wurde. Hierdurch sollte insbesondere überprüft werden, inwieweit die durch Lernsoftware und Unterricht verfolgten Ziele erreicht wurden.

Insbesondere sollte ermittelt werden, ob die entsprechend unterrichteten Schüler die physikalischen Grundlagen besser reproduzieren können, ob ihnen der Transfer zwischen verschiedenen Codierungen leichter fällt, ob sie besser mit Zusammenhängen in dynamischen Systemen klar kommen, ob sie ihre physikalischen Kenntnisse besser auf Probleme aus dem Straßenverkehr anwenden können und ob sie Gefahren im Straßenverkehr realistischer einschätzen als die Schüler der Vergleichsgruppe. Alle entsprechenden Hypothesen konnten aufgrund der empirischen Daten bestätigt werden. Die zentralen Ziele wurden also erreicht.

Dennoch gibt es in beiden Bereichen weiterhin Potential für zukünftige Entwicklungen. Im Bereich der Software wurde hiermit bereits begonnen: Die Erfahrungen aus der Unterrichtsreihe beim Einsatz der Software wurden genau protokolliert und ausgewertet. Eine Reihe beobachteter Mängel und weiterführender Möglichkeiten wurden aufgegriffen und in Erweiterungen der Software umgesetzt. Vorläufiges Ergebnis ist die Version 2.0.0 der Software, welche ebenfalls Bestandteil dieser Arbeit ist. Bisher liegen aber nur wenige, exemplarische Inhaltskomponenten hierfür vor, die das Potential dieser Software bei Weitem nicht ausschöpfen. Eine Erweiterung dieses Komponentenbestandes erscheint daher sehr sinnvoll. Außerdem liegen noch weitere Ideen zur Funktionalen Erweiterung vor, die zum Teil bereits in dieser Arbeit vorgestellt wurden und deren Umsetzung sicher lohnenswert wäre. Auch eine erneute Evaluation der Software in der neuen Version sollte in zukünftigen Projekten in Angriff genommen werden.

Auch hinsichtlich der Unterrichtsreihe gibt es - bei insgesamt positiver Bilanz - genügend Potential für zukünftige Verbesserungen. So hat sich zum Beispiel herausgestellt, dass die Schüler zwar Gefahren im Straßenverkehr realistischer einschätzen, aber trotzdem ihre eigenen Möglichkeiten zur Kontrolle gefährlicher Verkehrssituationen genauso häufig überschätzen. Hier könnte eine fächerverbindende Kooperation mit anderen Kursen, etwa aus der Psychologie oder den Sozialwissenschaften, positiven Einfluss nehmen. Außerdem erfordert eine Integration der neuen Softwareversion 2.0.0 noch einige Anpassungen des Konzeptes.

5 Anhang

5.1 Nachweise und Verzeichnisse

5.1.1 *Literaturverzeichnis*

5.1.1.1 Eigene Vorveröffentlichungen zum Thema

Die folgenden Arbeiten, Artikel und Tagungsbeiträge wurden vom Autor der vorliegenden Arbeit (teilweise mit einem Co-Autor) veröffentlicht.

BUSSE 2001CFFF

Busse, Alexander: Möglichkeiten, Grenzen und Perspektiven des Einsatzes von Simulationsprogrammen und Modellbildungssystemen anhand von Beispielen aus dem Sachgebiet „Mechanische Schwingungen“ im Physikunterricht der Jahrgangsstufe 11. Schriftliche Hausarbeit im Rahmen der zweiten Staatsprüfung für das Lehramt für die Sekundarstufe II, Studienseminar Oberhausen, betreut von StD. Ralph Moock, Oberhausen 2001.

Frei zugänglich unter <http://www.lernwelt.net/physik/publikationen/ExamenBusse2.pdf> (21.10.2005).

BUSSE / HARREIS ICTE 2002

Busse, Alexander; Harreis, Horst: Road Safety Training by Multimedia. In: International Conference on Information and Communication Technologies in Education (ICTE), Badajoz, Espana 2002.

ISBN TOMO I-84-95251-77-9

BUSSE PDN 2003

Busse, Alexander: Mechanik und Verkehr. Ein Projekt zur Entwicklung multimedialer Lernsoftware zur Verkehrserziehung. In: Praxis der Naturwissenschaften (PdN), Physik in der Schule, Heft 03/52, Aulis Verlag, Köln 2003. ISSN 1617-5689

BRESGES / BUSSE DGTB 2003

Bresges, André; Busse, Alexander: Mechanik und Verkehr. Ein Multimediaprojekt mit Polizei, TÜV und Verkehrswacht zur Analyse und Modellierung des Verhaltens von Kraftfahrzeugen. In: Tagungsband der Deutschen Gesellschaft für technische Bildung e. V. (DGTB), Herbsttagung Berlin 2003.

BRESGES / BUSSE NETZ 2003

Bresges, André; Busse, Alexander: Vorstellung und Diskussion eines objektorientierten Modellbildungssystems für die kollaborative, netzbasierte Modellierung von Fahrzeugverhalten in der Ausbildung zum Kraftfahrzeugmechaniker. In: H. Luczak (Hrsg.): Kooperation und Arbeit in vernetzten Welten. Ergonomia Verlag, Stuttgart 2003.

BRESGES / BUSSE DPG 2004

Bresges, André; Busse, Alexander: Multimedia im Physikunterricht soll den Unfalltod junger Autofahrer verhindern helfen. In: Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG), Frühjahrstagung Düsseldorf 2004. Physik Verlag, Weinheim 2004. Busse: Abschnitte 2 bis 4.

BRESGES / BUSSE GIREP 2004

Bresges, André; Busse, Alexander: Preventing Traffic Accidents of Young Students with ICT in Physics Education. In: Proceedings in the GIREP 2004, International Conference on Teaching and Learning Physics in New Contexts (GIREP), University of Ostrava, CZ 2004. Busse: Abschnitte 2 und 3.

BUSSE DPG 2005 A

Busse, Alexander: Konzeption und Evaluation einer Unterrichtsreihe zur Mechanik am Kontext Straßenverkehr in Kooperation mit der Polizei und unter Einbeziehung eigener Modellbildungs- und Simulationssoftware. In: Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG), Frühjahrstagung, Berlin 2005. Physik Verlag, Weinheim 2005.

BUSSE DPG 2005 B

Busse, Alexander: Entwicklung und Evaluation einer Interaktiven Lernsoftware zur Modellierung und Simulation physikalischer Probleme aus dem Kontext Straßenverkehr und Fahrzeugtechnik im Physikunterricht. In: Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG), Frühjahrstagung, Berlin 2005. Physik Verlag, Weinheim 2005.

5.1.1.2 Quellenangaben zu verwendeter Literatur

Die in den Überschriften verwendeten Abkürzungen werden im Dissertationstext für Verweise auf die entsprechende Quelle verwendet.

BENNINGHAUS 1982

Benninghaus, Hans: Statistik für Soziologen; 1. Deskriptive Statistik. Teubner Studienskripten; 22: Studienskripten zur Soziologie. Teubner Verlag, 4. Auflage, Stuttgart 1982. ISBN: 3-519-30022-2

BRESGES 2002

Bresges, André: Objektorientierte Modellbildung in der naturwissenschaftlichen und technischen Bildung. Entwurf und Erprobung eines Modellbildungskonzeptes für den Physik- und Technikunterricht und für die Produktion von Lern- und Informationsmedien. Von der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg anerkannte Dissertation, Duisburg 2002.

Frei zugänglich unter <http://purl.oclc.org/NET/duett-01312003-135301> (15.10.2005).

BRESGES 2005

Bresges, André: Physikalische Fehlkonzepte als Ausgangspunkt gefährlichen Verhaltens im Straßenverkehr. In: Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG), Frühjahrstagung, Berlin 2005. Physik Verlag, Weinheim 2005.

FORRESTER 1961

Forrester, Jay W.: Industrial Dynamics. MIT Press, Cambridge. Massachusetts 1961.

GINSBURG / OPPER 1998

Ginsburg, Herbert; Oppen, Sylvia: Piagets Theorie der geistigen Entwicklung. Klett-Cotta Verlag. Stuttgart 1998.

GÖTZ / HARREIS 1986

Götz, Rainer; Harreis, Horst: Der naturwissenschaftliche Unterricht in der Realschule unter besonderer Berücksichtigung des Modellverständnisses. In: Bildung real: Tagungsbericht zum 19. Mülheimer Kongress. Herausgegeben vom Realschullehrerverband Nordrhein-Westfalen, Mülheim an der Ruhr 1986.

GOLDKUHLE 1997

Goldkuhle, Peter: Modellbildung und Simulation mit dem Computer im Physikunterricht. Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln 1997.

HEMPEL 1983

Hempel, Karl Gustav: Philosophie der Naturwissenschaften. Deutscher Taschenbuch Verlag, München 1983. ISBN 3-42-304144-7.

ICPE-GIREP 1998

Born, Gernot; Harreis, Horst; Litschke, Herbert; Treitz, Norbert (Hrsg.): Hands on - Experiments in Physics Education – Proceedings. International Commission on Physics Education (ICPE) of the International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP); Groupe International de Recherche sur l'Enseignement de la Physique (GIREP); Gerhard-Mercator-Universität Duisburg, Sektion Didaktik der Physik. Duisburg 1999. ISBN 3-00-004409-4

IM-NRW 2003

Innenministerium des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Standards für die Verkehrserziehung und Verkehrsaufklärung der Verkehrssicherheitsberaterinnen und Verkehrssicherheitsberater der Polizei des Landes Nordrhein-Westfalen. Anlage 1 zum Runderlass des Innenministeriums vom 13.12.2001.

IM-NRW 2004

Innenministerium des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Verkehrsunfallstatistik Nordrhein-Westfalen 2004. Frei verfügbar unter http://www.im.nrw.de/sch/doks/verkehrsunfallstatistik_2004.pdf (30.10.2005)

KANT 1787

Kant, Immanuel: Kritik der reinen Vernunft. Suhrkamp Verlag, Sonderausgabe, herausgegeben von Weischedel, Wilhelm; Frankfurt am Main 1996. Erste Veröffentlichung: Königliche Akademie der Wissenschaften, Berlin 1787. ISBN 3-518-09327-4.

KMK 1995

Kultusministerium der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.): Verkehrserziehung in der Schule. Runderlass des Kultusministeriums vom 10.07.1995. GABI.NW.I Seite 154.

KRAMPE 2004

Krampe, Andreas: Straßenverkehr in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung der Altersgruppe der 18- bis 24-jährigen Fahranfänger; Expertise. Universität Potsdam, Institut für angewandte Familien-, Kindheits- und Jugendforschung. Potsdam 2004. Frei verfügbar unter <http://www.who-tag.de/pdf/2004ExpertiseInternetneu.pdf> (12.12.2005)

KREYSZIG 1982

Kreyszig, Erwin: Statistische Methoden und ihre Anwendungen. Vandenhoeck und Ruprecht Verlag, Nachdruck der 7. Auflage, Göttingen 1982. ISBN 3-525-40717-3.

KOLLER 1995

Koller, Dieter (Hrsg.): Simulation dynamischer Vorgänge - Ein Arbeitsbuch. Ernst Klett Schulbuchverlag, Leipzig 1995.

LAMBERT 2003

Lambert, Kelly: The life and career of Paul MacLean - A journey toward neurobiological and social harmony. In: Physiology & Behavior, Number 79 / 03. Elsevier, New York 2003

LIMBOURG ET AL. 2001

Limbourg, Maria; Raithel, Jürgen; Reiter, Karl: Risikoverhaltensweisen Jugendlicher und junger Erwachsener im Straßenverkehr. In: Verkehrszeichen, Ausgabe 3/2001, S. 15 20. Das Verkehrsbüro, Mülheim an der Ruhr 2001.

LIMBOURG ET AL. 2002

Limbourg, Maria; Schönharting, Jörg; Armbruster, Klaus: Forschungsprojekt: Nächtliche Freizeitaktivität von jungen Erwachsenen in Ballungsgebieten - Möglichkeiten zur Erhöhung der ÖPNV-Nutzung auf Disco-Wegen. Endbericht. Aktenzeichen: 513 - 211 003 99. Universität Essen, Essen 2002.

MSJK-NRW 2003

Ministerium für Schule, Jugend und Kinder des Landes Nordrhein-Westfalen: Verkehrs- und Mobilitäts-erziehung in der Schule. Rahmenvorgabe. Runderlass vom 09.02.2003, gültig am 16.02.2004. Ritterbach Verlag, 1. Auflage, Frechen 2003. ISBN 3-89314-7187.

MSWWF-NRW 2001

Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II - Gymnasium / Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Physik. Ritterbach Verlag GmbH, 1. Auflage, Frechen 1999. ISBN 3-89314-622-9.

MSW-NRW 2005

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Verordnung zur Änderung von Ausbildungs- und Prüfungsordnungen gemäß §52 SchulG vom 13.07.2005.

MIETZEL 1993

Mietzel, Gerd: Psychologie in Unterricht und Erziehung. Hogrefe Verlag, 4. Auflage, Göttingen 1993.. ISBN 3-80170-255-3.

MÜLLER 2005

Müller, Werner: Mathematische Näherungsverfahren zur Lösung von Differentialgleichungen. Im Auftrag der Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung, Dillingen 2005. Frei zugänglich unter <http://www.schule.bayern.de/unterricht/schulfaecher/Physik/Modellbildung/PDF/Mathematik.pdf> (20.01.2006)

MUSAHL 1997

Musahl, Hans-Peter: Gefahrenkognition. Theoretische Annäherungen, empirische Befunde und Anwendungsbezüge zur subjektiven Gefahrenkenntnis. Vom Fachbereich H2 der Gerhard-Mercator-Universität - Gesamthochschule - Duisburg genehmigte Habilitationsschrift. Roland Ansgar Verlag, Heidelberg 1997. ISBN 3-89334-274-5

MUSAHL / BENDING 2005

Musahl, Hans-Peter; Bending, Marc: Von der Wohnung zur Arbeit und zurück. Eine Studie zu Arbeitswegen und zum Wegeunfallgeschehen im Rahmen des Projektes „Erhebung von Wegeunfalldaten zur Ableitung gezielter Präventionsmaßnahmen“. Universität Duisburg-Essen & Norddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft. Abschlussbericht, Duisburg 2005.

OPITZ 2002

Opitz, Roald: Didaktische Aspekte der physikalischen Fachsprache. Dissertation zur des Grades eines Doktors der Pädagogik. Gerhard-Mercator-Universität Duisburg, Duisburg 2002. Frei verfügbar unter <http://www.ub.uni-duisburg.de/ETD-db/theses/available/duett-02212002-164513/unrestricted>.

OSSIMITZ 2000

Ossimitz, Günther: Entwicklung systemischen Denkens. Theoretische Konzepte und empirische Untersuchungen. Profil Verlag, München 2000.

PLATON 1992

Platon: Das Höhlengleichnis. In: Πολιτεία. S. 514a ff (nach der dreibändigen Ausgabe von Stephanus von 1578). In: Platon. Sämtliche Werke. Band III, Buch II. Rowohlt Taschenbuch Verlag, Hamburg 1992. ISBN 3-499-45027-5

POPPER 1995

Popper, Karl: Logik der Forschung. 10. Auflage, Mohr Siebeck Verlag, Tübingen 1995.

SCHMIDKUNZ / LINDEMANN 1999

Schmidkunz, Heinz; Lindemann, Helmut: Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren. Aus der Reihe: Didaktik der Naturwissenschaften, Band 2. Westarp Wissenschaften, Magdeburg 1999.

SCHWARZ-HAHN / REHBURG 2003

Schwarz-Hahn, Stefanie; Rehbürg, Meike: Bachelor und Master in Deutschland. Empirische Befunde zur Strukturreform. Wissenschaftliches Zentrum für Berufs- und Hochschulforschung, Universität Kassel. Studie gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Kassel 2003. Frei zugänglich unter http://www.bmbf.de/pub/bachelor_und_master_in_deutschland.pdf (21.10.2005).

STAT-BA 2005 A

Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Verkehrsunfälle 2004. Erschienen am 16.09.2005, korrigiert am 21.10.2005, Artikelnummer: 2080700047004, Wiesbaden 2005.

STAT-BA 2005 B

Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Unfälle von 18- bis 24-Jährigen im Straßenverkehr. Erschienen am 25.10.2005, Artikelnummer: 5462406047004, Wiesbaden 2005.

TREITZ 1984

Treitz, Norbert: Deduktive Programme auf dem Bildschirmcomputer und andere Mediennutzungen im Physikunterricht. Umfrageergebnisse und konstruktive Beispiele. Habilitationsschrift, genehmigt vom Fachbereich Physik - Technologie der Universität Duisburg 1984. Veröffentlicht im Lehrmittelverlag Wilhelm Hagemann, Düsseldorf 1985.

VOLLMER 1988

Vollmer, Gerhard: Was können wir wissen? Band 1: Die Natur der Erkenntnis; Beiträge zur evolutionären Erkenntnistheorie. Hirzel Verlag, Stuttgart 1988. ISBN 3-7776-0443-7

VOLLMER 2000

Vollmer, Michael: Wahlverhalten von Schülern der Sekundarstufe II im Fach Physik seit 1990 im Vergleich. Studienergebnisse. Physikalische Ingenieurwissenschaften der Fachhochschule Brandenburg. Brandenburg 2000.

WEIDENMANN 1995

Weidenmann Bernd Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In: Issing,, Ludwig; Klimsa, Paul (Hrsg.): Information und Lernen mit Multimedia (Seiten 65 - 84). Psychologie Verlags Union, Weinheim 1995.

Zuckerman / Ruch 2001

Zuckerman, Marvin; Ruch, Willibald: Sensation seeking in adolescents. In Raithel, Jürgen (Hrsg.): Risikoverhaltensweisen Jugendlicher. Erklärungen, Formen und Prävention (Seiten 97 - 110). Verlag Leske & Budrich, Opladen 2001.

5.1.1.3 Hypertext-Seiten im World Wide Web⁴⁸

Die folgenden Quellen sind nicht in gedruckter Form erhältlich, sondern nur über das World Wide Web. Sofern nicht anders angegeben, sind alle Quellen öffentlich frei verfügbar. Angegeben ist jeweils die URL⁴⁹, in Klammern das Datum des letzten Zugriffs-

FENDT WWW

Fendt, Walter: Homepage.

Frei zugänglich unter <http://www.walter-fendt.de> (20.09.2005).

GOLDKUHLE WWW

Goldkuhle, Peter: Das Runge-Kutta-Verfahren.

Frei zugänglich unter <http://www.learnline.nrw.de/angebote/modell/runge.htm> (14.09.2005)

HUPFELD WWW

Hupfeld, Walter: Modellbildungswerkzeuge.

Frei zugänglich unter <http://www.modsim.de> → Modellbildungswerkzeuge (18.09.2005).

KIRSTEIN WWW

Kirstein, Jürgen: Interaktive Bildschirmexperimente

frei zugänglich unter <http://www.ifpl.tu-berlin.de/forschung/ibe/entwicklung.php> (17.10.2005).

LANG WWW

Lang, Werner: Hohlwelttheorie.

Frei zugänglich unter <http://www.lantw.de> (02.10.2005).

LEARNLINE-NRW

Land Nordrhein-Westfalen: Learnline. Bildungsserver für Nordrhein-Westfalen.

Frei zugänglich unter <http://www.learnline.nrw.de> (14.08.2005).

⁴⁸ Hypertext-Seiten werden in der *Hypertext Markup Language* (HTML) verfasst, einer Script-Sprache, deren Aufbau von einem Konsortium festgelegt wird und die im World Wide Web (WWW) als verbindlicher Standard gilt. Hypertext-Seiten können neben formatiertem Text auch Grafiken, Multimedia-Elemente, spezielle Programme und Hyperlinks (Verweise auf andere Seiten oder Programme) enthalten.

⁴⁹ URL ist die Abkürzung für *Uniform Resource Locator*. Es handelt sich dabei um Adressangaben, über welche man mittels eines Internet-Browsers direkt zu einer bestimmten Seite im WWW gelangt.

NATSIM-SEARCH

Schweickert, Frank: NatSim-Search.

Frei zugänglich unter <http://natsim.net/cgi-bin/ps/search.pl> (16.10.2005).

OSSIMITZ WWW

Ossimitz, Günther: Systemdynamik.

Frei zugänglich unter <http://www.uni-klu.ac.at/~gossimit/sysdyn.php> (16.09.2005).

SCHULE-BAY

Land Bayern: Bayrischer Schulserver. Frei zugänglich unter <http://www.schule.bayern.de> (20.01.2006).

SCHULE-BW

Land Baden-Württemberg: Schule BW. Bildungsserver für Baden-Württemberg.

Frei zugänglich unter <http://www.schule-bw.de> (14.08.2005).

5.1.2 Abbildungsnachweise

- Die folgenden Abbildungen wurden vom Autor selbständig entworfen und mittels der Zeichenfunktionen von Microsoft® Word® erstellt:

Abbildung 1, Abbildung 2, Abbildung 3, Abbildung 4, Abbildung 8, Abbildung 9, Abbildung 36, Abbildung 52, Abbildung 56, Abbildung 86, Abbildung 87, Abbildung 102, Abbildung 106, Abbildung 113 und Abbildung 116.

- Bei den als nächstes aufgeführten Abbildungen handelt es sich um Screenshots⁵⁰, die vom Autor von der Software „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5 erstellt wurden:

Abbildung 23 bis Abbildung 35, Abbildung 37 bis Abbildung 51, Abbildung 53, Abbildung 54, Abbildung 57 bis Abbildung 67, Abbildung 94, Abbildung 96, Abbildung 97, Abbildung 105, Abbildung 108, Abbildung 118, Abbildung 120, Abbildung 121, Abbildung 123, Abbildung 125, Abbildung 128, Abbildung 130 und Abbildung 133.

- Die nachfolgenden Abbildungen enthalten ebenfalls Screenshots der Software „Mechanik und Verkehr“ 1.0.5, wurden aber vom Autor mittels der integrierten Funktionen von Microsoft® Word® um weitere Elemente wie Tabellen, Beschriftungen und graphische Elemente ergänzt:

Abbildung 110, Abbildung 111, Abbildung 114, Abbildung 117, Abbildung 119, Abbildung 122, Abbildung 124, Abbildung 127, Abbildung 129, Abbildung 132 und Abbildung 134 bis Abbildung 137.

- Bei diesen Abbildungen handelt es sich um Screenshots, die vom Autor von der Software „Mechanik und Verkehr“ 2.0.0 angefertigt wurden:

Abbildung 68 bis Abbildung 85.

- Die nun folgenden Abbildungen sind ebenfalls vom Autor erstellte Screenshots, allerdings aus anderen Programmen, deren Name jeweils angegeben ist:

- Dynasys®: Abbildung 6, Abbildung 7, Abbildung 11 bis Abbildung 14
- Stella®: Abbildung 15
- Powersim®; Abbildung 16
- Vensim®: Abbildung 17
- Pakma® / Visedit®: Abbildung 18 und Abbildung 19 (aus der Dokumentation)
- Physlet (Fendt): Abbildung 20
- MS® Windows®: Abbildung 21 und Abbildung 22

⁵⁰ Unter Screenshots versteht man digitale Bilder, welche durch eine entsprechende Software (in diesem Fall „ACDSee® 8.0“) direkt aus der Bildschirmausgabe eines anderen Programms generiert wurden.

- Die im Folgenden aufgeführten Abbildungen sind vom Autor im Rahmen der in Abschnitt 3.3 vorgestellten Unterrichtsreihe digital aufgenommene Fotos:
Abbildung 99, Abbildung 100, Abbildung 103, Abbildung 104, Abbildung 107, Abbildung 109, Abbildung 112, Abbildung 115, Abbildung 126, Abbildung 131 und Abbildung 138 bis Abbildung 141.
- Die folgenden Abbildungen wurden erstellt mit Hilfe von Computerprogrammen zur Aufarbeitung und Auswertung empirischer Daten, die vom Autor unter Nutzung der Entwicklungsumgebung Microsoft Visual Basic 6.0 selbst erstellt wurden:
Abbildung 143 bis Abbildung 249.
- Schließlich sind noch einige Abbildungen zu nennen, die sich nicht in die bisher aufgeführten Kategorien eingliedern lassen:
 - Abbildung 5 wurde entnommen aus MÜLLER 2005 und mit den Zeichenfunktionen von Microsoft® Word® nachbearbeitet und beschriftet.
 - Abbildung 10 ist ein Foto, das auf dem Bikertag der Polizei Mülheim am 30.04.2005 auf dem Gelände der Siemens PG entstanden ist.
 - Abbildung 55 wurde aus der Zeitschrift „Auto, Motor und Sport“, Ausgabe 11 / 2002 entnommen.
 - Abbildung 88 wurde entnommen aus der Verkehrsunfallstatistik 2004 des Bundesamtes für Statistik.
 - Abbildung 89 ist ein Auszug aus der Rahmenvorgabe „Verkehrs- und Mobilitäts-erziehung in der Schule“ des Landes NRW.
 - Abbildung 90 ist ein Auszug aus den „Standards für die Verkehrserziehung und Verkehrsaufklärung der Verkehrssicherheitsberaterinnen und Verkehrssicherheitsberater der Polizei des Landes Nordrhein-Westfalen (IM-NRW 2003).
 - Abbildung 91 wurde unter Verwendung einer Abbildung aus dem Schulbuch „Natura - Biologie für Gymnasien“, Ausgabe für Nordrhein-Westfalen, Band 2b erstellt.
 - Abbildung 92 wurde in Anlehnung an Abbildung 2 in BRESGES 2005 mittels der Zeichenfunktionen aus Microsoft® Word® erstellt.
 - Abbildung 98 zeigt 4 Momentaufnahmen aus dem Videofilm „Wettrennen in den Tod“, das 1998 im Auftrag der Polizei Brandenburg produziert wurde.
 - Abbildung 101 besteht aus 2 Bildern derselben Straßeneinmündung (als Straßenkarte und als Luftbild), die beide mit Hilfe des kostenlosen Online-Angebotes Stadtplandienst® (<http://www.stadtplandienst.de>) erstellt und als Screenshots gespeichert wurden.

- Abbildung 141 besteht aus drei Fotos, die vom Autor bei einer verkehrspädagogischen Maßnahme an einer Radarkontrolle in Mülheim an der Ruhr am 19.09.2003 digital aufgenommen wurden.

5.2 Verwendete Materialien

5.2.1 *Material für den Physikunterricht*

In Abschnitt 3.3 wurde eine Unterrichtsreihe für das Fach Physik zum Thema „geradlinige Bewegungen“ am Kontext „Straßenverkehr“ vorgestellt, die auf dem in Abschnitt 3.2 dargelegten Unterrichtskonzept beruht und in sieben Grundkursen der Jahrgangsstufe 11 an vier weiterführenden Schulen in Mülheim an der Ruhr durchgeführt wurde.

Die wichtigsten schriftlichen Arbeitsmaterialien für die Schüler, welche innerhalb dieser Unterrichtsreihe zum Einsatz kamen, sind im Folgenden abgedruckt. In den Überschriften der Abschnitte ist jeweils das Modul aus der Unterrichtsreihe genannt, in welchem das entsprechende Material zum Einsatz kommt. Die Unterlagen sind jeweils verkleinert und mit einem Rahmen versehen, entsprechen ansonsten aber genau den im Unterricht verwendeten Originalen. Auf dem Datenträger (siehe Abschnitt 5.2.3) befinden sich die Dokumente zusätzlich als druckbare PDF-Dateien. Alle Unterrichtsmaterialien wurden vom Autor selbst konzipiert und erstellt.

Das Dokument in Abschnitt 5.2.1.2 basiert auf einem realen Unfallbericht der Polizei Mülheim an der Ruhr, wurde aber in einigen Passagen gekürzt und im Wortlaut so abgewandelt, dass die relevanten Informationen für die Schüler leichter auffindbar sind. Aus Gründen des Datenschutzes wurden die Formblätter zur Erhebung der Personen- und Fahrzeugdaten nicht verwendet sowie alle Informationen über Personen, Aktenzeichen oder Nummernschilder im Text geschwärzt.

Zu den Schülerversuchen in Modul E01 gibt es teilweise mehrere Varianten einer Lernstation, von denen - je nach Ausstattung an jeder Schule - jeweils nur eine zum Einsatz kam. Die Varianten sind durch Indizes an den Modulbezeichnungen auf den Blättern unterschieden.

Die Rollenkarten in Abschnitt 5.2.1.10 wurden auf Karton gedruckt, ausgeschnitten und laminiert. Dieselben Karten wurden dann bei jeder Realisierung des Moduls L03 wieder verwendet.

5.2.1.1 Ursachenverzeichnis für Verkehrsunfälle

<i>Ursachenverzeichnis</i> Es sind stets alle festgestellten Ursachen mit ihren Schlüsselnummern einzutragen. Im Verzeichnis nicht besonders genannte Ursachen sind den hierfür vorgesehenen Restpositionen zum jeweiligen Abschnitt zuzuordnen, wie 04, 49, 55, 69, 74, 84 und 88. Ist eine Zuordnung zu den vorgenannten Positionen nicht möglich, dann ist Position 89 anzugeben. Die Ursachen 01 und 69 sind den entsprechenden Ordnungsnummern der Beteiligten zuzuordnen. Zumindest bei den die Verkehrstüchtigkeit betreffenden Ursachen 01 und 04 sind noch eine oder mehrere Ursachen anzugeben.	
Nr.	Ursachenbezeichnung
	Vorbeifahren
24	Nichtbeachten des Vorranges entgegen kommender Fahrzeuge beim Vorbeifahren an haltenden Fahrzeugen, Absperren oder Hindernissen (§ 6) (ausgenommen Pos. 32)
25	Nichtbeachten des nachfolgenden Verkehrs beim Vorbeifahren an haltenden Fahrzeugen, Absperren oder Hindernissen und/oder rechtzeitige und deutliche Ankündigung des Ausscherens
	Nebeneinanderfahren
26	Fehlerhaftes Wechseln des Fahrstreifens beim Nebeneinanderfahren oder Nichtbeachten des Reißverschlussverfahrens (§ 7) (ausgenommen Pos. 20, 25)
	Vorfahrt, Vorrang
27	Nichtbeachten der Regel „rechts vor links“
28	Nichtbeachten der die Vorfahrt regelnden Verkehrszeichen (§ 8) (ausgenommen Pos 29)
29	Nichtbeachten der Vorfahrt des durchgehenden Verkehrs auf Autobahnen oder Kraftfahrstraßen (§ 18, Abs. 3)
30	Nichtbeachten der Vorfahrt durch Fahrzeuge, die aus Feld- oder Waldwegen kommen
31	Nichtbeachten der Verkehrsregelung durch Polizeibeamte oder Lichtzeichen (ausgenommen Pos. 39)
32	Nichtbeachten des Vorranges entgegen kommender Fahrzeuge (Zeichen 208 StVO)
33	Nichtbeachten des Vorranges von Schienenfahrzeugen an Bahnübergängen
	Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren, Ein- und Anfahren
35	Fehler beim Abbiegen (§ 9) (ausgenommen Pos. 33, 40)
36	Fehler beim Wenden oder Rückwärtsfahren
37	Fehler beim Einfahren in den fließenden Verkehr (z.B. aus einem Grundstück, von einem anderen Straßenteil oder beim Anfahren vom Fahrbahnrand)
	Falsches Verhalten gegenüber Fußgängern
38	an Fußgängerüberwegen
39	an Fußgängerfurten
40	beim Abbiegen
41	an Haltestellen (auch haltenden Schulbussen mit eingeschaltetem Warblichlicht)
42	an anderen Stellen
	Verkehrstüchtigkeit
01	Alkoholeinfluss
02	Einfluss anderer berauschender Mittel (z.B. Drogen, Rauschgift)
03	Übermüdung
04	Sonstige körperliche oder geistige Mängel
	Fehler der Fahrzeugführer Straßenbenutzung
10	Benutzung der falschen Fahrbahn (auch Richtungsfahrbahn) oder verbotswidrige Benutzung anderer Straßenteile
11	Verstoß gegen das Rechtsfahrgebot
	Geschwindigkeit Nicht angepasste Geschwindigkeit
12	mit gleichzeitigem Überschreiten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit
13	in anderen Fällen
	Abstand
14	Ungenügender Sicherheitsabstand (sonstige Ursachen, die zu einem Verkehrsunfall führen, sind den zutreffenden Positionen, wie Geschwindigkeit, Übermüdung usw. zuzuordnen)
15	Starkes Bremsen des Vorausfahrenden ohne zwingen den Grund
	Überholen
16	Unzulässiges Rechtsüberholen
17	Überholen trotz Gegenverkehrs
18	Überholen trotz unklarer Verkehrslage
19	Überholen trotz unzureichender Sichtverhältnisse
20	Überholen ohne Beachtung des nachfolgenden Verkehrs und/oder ohne rechtzeitige und deutliche Ankündigung des Ausscherens
21	Fehler beim Wiedereinordnen nach rechts
22	Sonstige Fehler beim Überholen (z.B. ohne genügenden Seitenabstand, an Fußgängerüberwegen, s. Pos. 38, 39)
23	Fehler beim Überholtwerden

Nr.	Ursachenbezeichnung	Nr.	Ursachenbezeichnung
	Ruhender Verkehr, Verkehrssicherung		Straßenverhältnisse
43	Unzulässigen Halten und Parken	70	Verunreinigung durch ausgeflossenes Öl
44	Mangelnde Sicherung haltender oder liegen gebliebener Fahrzeuge und von Unfallstellen sowie von Schulbussen, bei denen Kinder ein- oder aussteigen	71	Andere Verunreinigungen durch Straßenbenutzer
45	Verkehrswidriges Verhalten beim Ein- oder Aussteigen, Be- oder Entladen	72	Schnee, Eis
46	Nichtbeachten der Beleuchtungsvorschriften (ausgenommen Pos. 50)	73	Regen
	Ladung, Besetzung	74	Andere Einflüsse (u.a. Laub, angeschwemmter Lehm)
47	Überladung, Überbesetzung		Zustand der Straße
48	Unzureichend gesicherte Ladung oder Fahrzeugzubehörteile	75	Spurrillen, im Zusammenhang mit Regen, Schnee oder Eis
49	Andere Fehler beim Fahrzeugführer	76	Anderer Zustand der Straße
	Technische Mängel, Wartungsmängel	77	Nicht ordnungsgemäßer Zustand der Verkehrszeichen oder -einrichtungen
50	Beleuchtung	78	Mangelhafte Beleuchtung der Straße
51	Bereifung	79	Mangelhafte Sicherung von Bahnübergängen
52	Bremsen		Witterungseinflüsse
53	Lenkung		Sichtbehinderung durch:
54	Zugvorrichtung	80	Nebel
55	Andere Mängel	81	starken Regen, Hagel, Schneegestöber usw.
	Falsches Verhalten der Fußgänger	82	blendende Sonne
	Falsches Verhalten beim Überschreiten der Fahrbahn	83	Seitenwind
60	an Stellen, an denen der Fußgängerverkehr durch Polizeibeamte oder Lichtzeichen geregelt war	84	Unwetter oder sonstige Witterungseinflüsse
61	auf Fußgängerüberwegen ohne Verkehrsregelung durch Polizeibeamte oder Verkehrszeichen		Hindernisse
62	in der Nähe von Kreuzungen oder Einmündungen, Lichtzeichenanlagen oder Fußgängerüberwegen bei dichtem Verkehr	85	Nicht oder unzureichend gesicherte Arbeitsstelle auf der Fahrbahn
63	durch plötzliches Hervortreten hinter Sichthindernissen	86	Wild auf der Fahrbahn
64	ohne auf den Fahrzeugverkehr zu achten	87	Anderes Tier auf der Fahrbahn
65	durch sonstiges falsches Verhalten	88	Sonstiges Hindernis auf der Fahrbahn (ausgenommen Pos. 43, 44)
66	Nichtbenutzen des Gehweges	89	Sonstige Ursachen (mit kurzer Beschreibung aufführen)
67	Nichtbenutzen der vorgeschriebenen Straßenseite		
68	Spielen auf oder neben der Fahrbahn		
69	Andere Fehler der Fußgänger		

5.2.1.2 Modul L02 - Polizeilicher Unfallbericht

VERKEHRSUNFALLANZEIGE Zweitschritt P <input checked="" type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/>			
Aufnehmende Dienststelle Polizeipräsidium Mülheim an der Ruhr Hauptwache Mitte von-Bock-Straße 50 45468 Mülheim an der Ruhr		Bußgeldbehörde/Staatsanwaltschaft Duisburg Verkehrsordnungswidrigkeit verjährt am:	
		Tatbestands-Protokollaufnahme <input checked="" type="checkbox"/> EDV-Nr. <input type="text"/> RB <input type="text"/> Krs <input type="text"/> Gem <input type="text"/> 1 01 6 7 117000 12	
Unfallart 1 Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das anfährt, anhält o. im ruhenden Verkehr steht 2 vorausfährt oder wartet 3 seitlich in gleicher Richtung fährt 4 entgegenkommt 5 einbiegt oder kreuzt (24) 125 5 6 Zusammenstoß zw. Fahrz. u. Fußg. 7 Aufprall auf Hindernis auf Fahrbahn 8 Abkommen von Fahrbahn nach rechts 9 Abkommen von Fahrbahn nach links 0 Unfall anderer Art		Behördenkennung NRW (03) 507100 Unfalldatum (Tag/Monat/Jahr) (04) 2/10/2004 Unfallzeit (Std./Min.) (05) 03:37 Wochentag (06) Me Anzahl der Beteiligten (08) 02 Getötete (07) 00 Schwerverletzte (09) 01 Leichtverletzte (10) 02 Gesamtschaden (11) 116200 (volle EUR) Alkoholeinwirkung (12) 1 § 142 StGB <input type="checkbox"/> Gefahr-gut <input type="checkbox"/> Kfz. n. fahrb. (13) 1 Unfallort (Gemeinde/Ortsteil/Kreis/Straße/Haus-Nr./Richtungsfahrbahn) Mellinghofer Straße / Zinkhüttenstraße	
Charakteristik der Unfallstelle 1 Kreuzung 126-128 2 2 Einmündung 3 Grundstücksein- oder -ausfahrt (25) 3 4 Steigung 5 Gefälle 6 Kurve Besonderheiten der Unfallstelle 2 Schienengleicher Wegübergang 3 Fußgängerüberweg (Zebrastrifen) 129-131 4 Fußgängerfurt (26) 3 5 Haltestelle 6 Arbeitsstelle 7 Verkehrsbauhelfer Bereich (Z. 325) 8 Querungshilfe für Fußgänger 9 Kreisverkehr		innerorts (14) 1 außerorts (15) 2 Fahrtrichtung Ordn.-Nr. (16) 01 aufsteigend (17) 1 absteigend (18) 2 Straßenschlüssel (19) 38 43 47 51 55 59 63 Haus-Nr. (20) 48 Straßen-gruppe (21) 52 Straßen-Nr. (22) 1132 km (23) 37 Station (km) (24) 00000 von Netzknoten A (25) 003,1000 nach B (26) 72 76 79 Unfall-kateg. (27) 85 Unfall-typ (28) 88 Sonderer-hebung (29) 89 Vorläufig festgestellte Ursachen gemäß Verzeichnis Nr. 01-69 Ordn.-Nr. (30) 195 107 109 112 Ordn.-Nr. (31) 113 115 117 120 gemäß Verzeichnis-Nr. 70-89 (32) 121 124 Unfallhergang (ggf. Handskizze): Verkehrsunfall mit Personenschaden Sachverhalt siehe Unfallbefundbericht	
Lichtzeichenanlage 8 Lichtzeichenanlage in Betrieb (27) 8 9 Lichtzeichenanlage außer Betrieb Geschwindigkeitsbegrenzung (28) 134-136 (nur angeordnet durch Z. 274/274.1, z.B. = Z30; Z242/Z325 = Z07) Lichtverhältnisse (29) 137-138 0 Tageslicht 1 Dämmerung 2 Dunkelheit 3 Straßenbeleuchtung in Betrieb Straßenzustand (30) 140-142 0 trocken 1 nass/feucht 2 winterglatt 5 schlüpfrig (Öl, Dung, Laub usw.)		1.) Anzeige am 19. Aug. 2004 an 2.) Zur Sammlung SIA Duisburg Blatt 1a <input type="checkbox"/>	
Aufprall auf Hindernis neben der Fahrbahn 0 Baum 1 Mast 2 Widerlager/Brückenpfeiler 3 Schutzplanke 4 sonstiges Hindernis 5 kein Aufprall auf Hindernis neben der Fahrbahn 143 1		Unfallaufnahme durch: PK Name, Amtsbezeichnung, Unterschrift und Datum (kein Unfallzeuge) Dienststelle, falls abweichend von "Aufnehmender Dienststelle" 27.07.2004 Geprüft und weitergeleitet mit Anlagen durch: Name, Amtsbezeichnung, Unterschrift und Datum	
aufnehmende Polizeidienststelle			

Unfallfundbericht

Az: [REDACTED]

1. Allgemeine Angaben

- 1.1 Meldezeit:** Montag, 27.07.2004, 03:42 h
- 1.2 Anrufer:** Beteiligter UB02
- 1.3 Eintreffen:** 03:45 h
- 1.4 Einsatzübernahme:** D 11/32 ([REDACTED] POK, [REDACTED] PK)
- 1.5 Angetroffene Personen:** PKW01: Fahrer UB01 und Beifahrerin UZ01
PKW02: Fahrer UB02 und Beifahrerin UZ02
Passant UZ03

2. Objektiver Befund

2.1 Benennung des Unfallortes:

Mülheim an der Ruhr, Mellinghofer Straße / Zinkhüttenstraße

2.2 Beschreibung des Unfallstelle:

Der Unfall ereignete sich im Einmündungsbereich Mellinghofer Straße / Zinkhüttenstraße. Es ist ein Schwarzdecke aufgetragen. Die LZA und die Straßenbeleuchtung waren zum Unfallzeitpunkt in Betrieb. Sichtbehinderungen lagen nicht vor.

2.3 Vorgefundene Spuren:

a) Spuren auf der Fahrbahn:

Auf dem Fahrstreifen des PKW01 befand sich eine 36 m lange Bremsspur, auf dem Fahrstreifen des PKW02 eine 1,5 m lange Bremsspur, wobei sich beide Spuren im Kreuzungsbereich trafen. Im Kreuzungsbereich auf der Mellinghofer Straße befanden sich diverse Trümmerteile, die von den beiden beteiligten Fahrzeugen stammten. Auf dem Fahrstreifen des PKW02 wurde eine Kratzspur festgestellt, die von dem Trümmerfeld ausgehend in Fahrtrichtung verlief. Aus beiden Fahrzeugen war Flüssigkeit auf die Fahrbahn ausgelaufen. Ein Laternenpfahl auf der Mellinghofer Straße wurde beschädigt.

b) *Spuren an / in den Fahrzeugen:*

PKW01: Der vordere linke Kotflügel sowie die linke Front waren stark eingedrückt, die Achse des linken Vorderrades offenbar gebrochen. Außerdem war die rechte Beifahrerseite eingedrückt und Flüssigkeit lief aus dem Motorraum. Das Fahrzeug war nicht fahrbereit.

PKW02: Die Front rechts einschließlich Kotflügel war bis zur B-Säule eingedrückt, die Airbags hatten ausgelöst und Flüssigkeit lief aus dem Motorraum. Das Fahrzeug war nicht fahrbereit.

c) *Spuren an den Personen:*

PKW01: Der Fahrer UB01 stand unter Schock, wies aber keine sichtbaren Verletzungen auf. Eine Blutuntersuchung ergab einen Alkoholgehalt von 1,2 ‰ im Blut des Fahrers. Die Beifahrerin UZ01 war offenbar durch die eingedrückte Tür eingeklemmt gewesen, war aber vor dem Eintreffen der Polizei bereits vom Zeugen UZ03 befreit worden. Sie wies schwere Verletzungen auf und wurde mit dem NAW ins Krankenhaus transportiert.

PKW02: Beide Insassen (03, 04) klagten über Schmerzen in Brust- und Halswirbelbereich. Bei der Beifahrerin UZ02 war außerdem eine Prellung im Stirnbereich zu erkennen. Beide wollten selbständig einen Arzt aufsuchen.

3. Subjektiver Befund

3.1 Befragung der Beteiligten

Die Beteiligten wurden nach Belehrung durch den Unterzeichner zum Unfallhergang befragt und machten folgende Angaben:

Fahrer UB01 war alkoholisiert, stand unter Schock und war daher nur eingeschränkt vernehmungsfähig. Er berichtete, er habe Beifahrerin UZ01 in der Disco kennen gelernt und sei mit ihr auf dem Weg zu seiner Wohnung gewesen. Zum Unfallhergang wollte er keine Angaben machen.

Fahrer UB02 berichtete, er sei bei grün auf die Kreuzung zugefahren. Als er das Quietschen der Bremsen von PKW01 bemerkte, hätte er das Tempo reduziert, realisierte aber erst im letzten Moment, dass das andere Fahrzeug wohl nicht rechtzeitig zum Stehen kommen würde und leitete die Gefahrenbremsung ein, konnte den Aufprall aber nicht mehr verhindern.

3.2 Befragung des Zeugen

Beifahrerin UZ01 war nicht vernehmungsfähig. Die restlichen Zeugen wurden ebenfalls durch den Unterzeichner belehrt und machten folgende Angaben:

Beifahrerin UZ02 gab an, vor dem Unfall geschlafen zu haben und erst durch die Gefahrenbremsung aufgewacht zu sein. Sie betonte aber, ihr Mann UB02 halte sich immer an die Geschwindigkeitsbegrenzungen.

Passant UZ03 berichtete, er habe auf der Zinkhüttenstraße vor der Haustür eines Bekannten auf ein Taxi gewartet, als PKW01 mit offensichtlich überhöhter Geschwindigkeit

vorbeifuhr und vor der rot werdenden Ampel eine Gefahrenbremsung von mehreren Sekunden durchführte. Er sei jedoch nicht vor der Ampel zum Stehen gekommen, sondern trotz Bremsung einige Meter in den Kreuzungsbereich und damit in den Querverkehr gefahren. Er gab außerdem an, laute Musik aus dem PKW01 wahrgenommen zu haben. Nach dem Aufprall habe er UZ01 aus dem Wagen befreit und den Notruf abgesetzt.

4. Bewertung / Folgerung

Der UB01 befuhr mit PKW01 die Zinkhüttenstraße in Fahrtrichtung Mellinghofer Straße mit offenbar stark überhöhter Geschwindigkeit (Bremsspur und Aussage von UZ03). Als die Ampel auf rot wechselte, leitete er eine Gefahrenbremsung ein, kam aber erst zum Stehen, als er mit der Front bereits im Kreuzungsbereich stand, wo er vom PKW02 seitlich erfasst wurde. UB02 hatte trotz guter Reaktion keine Möglichkeit, den Unfall zu vermeiden. Durch die Wucht des Aufpralls wurden beide PKW stark beschädigt und PKW01 wurde gegen einen Laternenpfahl geschoben. Dabei wurde die Beifahrertür des PKW01 eingedrückt und UZ01 schwer verletzt.

Der Unfall hätte vermieden werden können, wenn UB01 sich an die vorgeschriebene Geschwindigkeit gehalten hätte. Die Alkoholisierung von UB01 (Blutuntersuchung) sowie die Ablenkung durch laute Musik (Aussage von UZ03) führten vermutlich zusätzlich zu einer Verlangsamung seiner Reaktion.

5. Eingeleitete Maßnahmen

Sicherung der Unfallstelle und Vorbeileiten des Verkehrs
Befragung der Beteiligten und Zeugen
Anforderung eines NAW zum Transport von UZ01
Beauftragung einer Blutprobe an UB01
Beauftragung des Abtransports der verunfallten Fahrzeuge
Säuberung des Kreuzungsbereichs



, PK

5.2.1.3 Modul E01 Blatt a - Lernstation 01

E01a₁	Schülerexperimente in Lernstationen	Multimedia Projekt Mechanik und Verkehr	UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN Campus Duisburg Institut für Physik
-------------------------	--	---	--

Station 01

Weg-Zeit-Gesetz der gleichförmigen Bewegung

1. Versuchsmaterial

Sie benötigen für diesen Versuch die folgenden Materialien:

- a) Motorgetriebenes Spielzeugauto, programmierbar
- b) Topfenflasche mit farbiger Flüssigkeit
- c) Klebeband
- d) Maßband
- e) Sekundengenaue Armbanduhr



Abbildung 1

2. Versuchsaufbau

Das Fahrzeug (a) ist ein Kinderspielzeug. Es ist motorgetrieben und wird durch einen einfachen Computer angesteuert, über den sich zu fahrende Wege programmieren lassen. Er kennt hierfür die Befehle vorwärts / rückwärts fahren (Strecke in Fahrzeuglängen) und links herum / rechts herum drehen (60 entspricht eine vollständigen Drehung). Sie möchten jedoch nur, dass das Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit vorwärts fährt. Dazu drücken Sie auf dem Bedienpanel (Abbildung 2) die Taste \uparrow und danach die zu fahrende Strecke, sagen wir 20 Wagenlängen.



Abbildung 3



Abbildung 2

Befestigen Sie nun mit Hilfe des Klebebandes (c) die Flasche (b) etwa so an dem Fahrzeug wie in Abbildung 3 zu sehen. Achten Sie darauf, dass die Flüssigkeit während der Fahrt ungehindert auf den Boden tropfen kann. Lassen Sie aus Sauberkeitsgründen die Flasche aber bis zu Versuchsbeginn geschlossen! Suchen Sie sich eine geeignete Strecke auf dem Boden, auf welcher das Fahrzeug ungehindert 10 Wagenlängen fahren kann, und wo die Tropfen gut zu sehen und auch gut wieder zu entfernen sind. Bitte hinterlassen Sie Ihre Versuchstrecke am Ende des Versuches unbedingt wieder so, wie Sie sie vorgefunden haben!

3. Versuchsdurchführung

Ziel des Versuches ist es, für diese gleichförmige Bewegung den vom Wagen zurückgelegten Weg in Abhängigkeit von der benötigten Zeit zu bestimmen.

Gehen Sie hierzu wie folgt vor:

Bestimmen Sie als erstes die Zeit zwischen zwei Tropfen aus der Flasche. Zählen Sie hierfür, wie viele Tropfen innerhalb einer Minute aus der Flasche tropfen, wobei Sie die Zeit mit Hilfe der Armbanduhr (e) messen. Sie erhalten die gesuchte Zeit durch Division der Tropfenzahl durch die Gesamtzeit.

Bringen Sie nun das Fahrzeug in Startposition, öffnen Sie die Flasche und überzeugen Sie sich, dass die Flüssigkeit gleichmäßig heraustropft. Starten Sie die Messung, indem Sie am Bedienfeld die Taste „Go“ drücken. Nach Abschluss der Fahrt verschließen Sie bitte die Flasche wieder.

Nehmen Sie nun das Maßband (d) zu Hilfe. Messen Sie für jeden Tropfen dessen Abstand von Startpunkt, zu erkennen daran, dass dort mehrere Tropfen entstanden sind. Tragen Sie jeweils die Nummer des Topfens und die gemessene Strecke in die Tabelle ein.

Tropfennummer					
entsprechende Zeit / s					
gefahrte Strecke / m					

Tropfennummer					
entsprechende Zeit / s					
gefahrte Strecke / m					

Tropfennummer					
entsprechende Zeit / s					
gefahrte Strecke / m					

4. Versuchsauswertung

Bestimmen Sie zu jedem Tropfen die entsprechende, bis dahin vergangene Zeit, indem Sie die Nummer mit dem im ersten Versuchsteil bestimmten Intervall zwischen zwei Topfen multiplizieren. Tragen Sie die berechneten Werte in die Tabelle ein.

Erstellen Sie nun ein Diagramm, in welchem Sie die gefahrte Strecke (y-Achse) gegen die benötigte Zeit (x-Achse) auftragen. Wählen Sie den Maßstab so, dass das verwendete Blatt weitgehend ausgefüllt wird, aber alle Punkte darauf passen.

Wie würden Sie die entstehende Kurve beschreiben? Können Sie einen Ausgleichsgraphen so legen, dass möglichst gleich viele Punkte oberhalb und unterhalb der Kurve liegen?

5.2.1.4 Modul E01 Blatt b - Lernstation 02

E01b₁**Schülerexperimente
in Lernstationen**Multimedia Projekt
**Mechanik
und
Verkehr**UNIVERSITÄT
**DUISBURG
ESSEN**
Campus Duisburg
Institut für Physik**Station 02**

Weg-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung

1. Versuchsmaterial

Sie benötigen für diesen Versuch die folgenden Materialien:

- a) Luftkissenfahrbahn mit Stativen
- b) Kompressor, Schlauch, Netzteil
- c) Gleitwagen mit Verdunkler
- d) 2 Lichtschranken
- e) Präzisionszeitmesser mit Kabeln
- f) Holzmaßstab

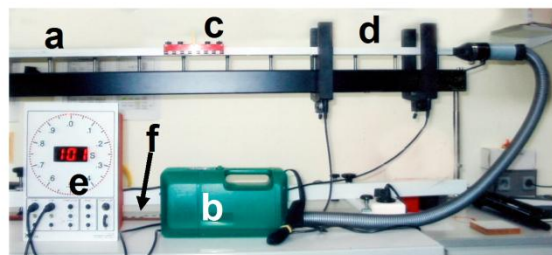


Abbildung 1

2. Versuchsaufbau

Die Luftkissenfahrbahn (a) ist bereits aufgebaut, schräg einjustiert und mit dem Kompressor (b) verbunden. Der Wagen (c) wird nun mit dem Verdunkler nach oben auf die Fahrbahn (a) gesetzt (Abbildung 2). Die Lichtschranken (d) werden mit den fest angebrachten Magneten so von unten an die Fahrbahn (a) geheftet, dass die Messvorrichtung nach oben zeigt (Abbildung 3). Die Messeingänge des Präzisionsmessers (e) werden mit den Lichtschranken verbunden, der Eingang „Start“ mit der rechten, der Eingang „Stopp“ mit der linken (Abbildung 4). Schalten Sie den Kompressor ein, der Wagen sollte nun leicht über die Fahrbahn gleiten. Schieben Sie den Wagen an das rechte (höhere) Ende der Fahrbahn und halten Sie ihn dort fest, um die erste (rechte) Lichtschranke zu platzieren: Sie sollte so angebracht werden, dass der Verdunkler des Wagens in dieser Stellung soeben nicht die Lichtschranke unterbricht. Die Position wird bei der Versuchsdurchführung nicht geändert! Lassen Sie den Wagen los. Überzeugen Sie sich, dass die Zeitmessung beim Durchqueren der ersten Lichtschranke startet, beim Durchqueren der zweiten endet. Schieben Sie den Wagen wieder in Ausgangsstellung (rechter Anschluss) und drücken Sie am Präzisionszeitmesser den Reset-Taster.

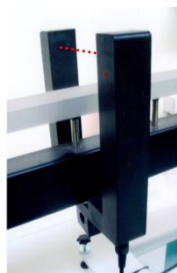


Abbildung 3

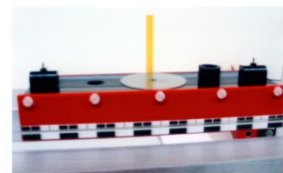


Abbildung 2

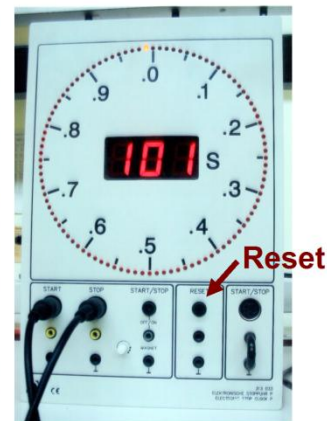


Abbildung 4

3. Versuchsdurchführung

Ziel des Versuches ist die Messung des Weges, den der Wagen auf dieser schiefen Ebene bei einem Beschleunigungsvorgang ohne Anfangsgeschwindigkeit zurücklegt, in Abhängigkeit von der Zeit, die er dafür benötigt.

Gehen Sie hierzu wie folgt vor:

Plazieren Sie die linke (untere) Lichtschranke so, dass die jeweiligen linken Ränder der beiden Lichtschranken einen Abstand von 5 cm aufweisen (Abbildung 5). Verwenden Sie zur Messung den Holzmaßstab (f). Tragen Sie den Wert in die unten stehende Tabelle ein. Bringen Sie nun den Wagen in Ausgangsposition (rechter Anschlag) und drücken Sie den Reset-Taster am Präzisionszeitmesser. Lassen Sie den Wagen los. Wenn er beide Lichtschranken durchquert hat, notieren Sie die gemessene Zeit in der unten stehenden Tabelle unter dem zugehörigen Weg (Abstand der linken Ränder der Lichtschranken).

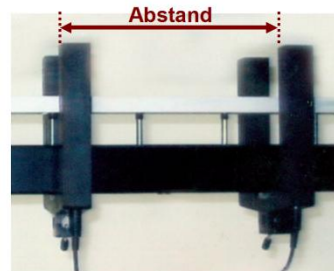


Abbildung 5

Wiederholen Sie den beschriebenen Ablauf für verschiedene Wege (Abstände) und notieren Sie alle Messwerte in der Tabelle. Vergrößern Sie hierzu vor bei jeder Messung den Abstand um einen kleinen Betrag, sodass Sie nach 20 Messungen etwa am linken Ende der Fahrbahn angelangt sind.

Strecke / cm					
Zeit / s					

Strecke / cm					
Zeit / s					

Strecke / cm					
Zeit / s					

Strecke / cm					
Zeit / s					

4. Versuchsauswertung

Tragen Sie in einem Diagramm die gemessene Strecke (s) gegen die gemessene Zeit auf. Wählen Sie hierfür einen geeigneten Maßstab, so dass das verwendete Blatt annähernd vollständig ausgenutzt wird. Wie würden Sie die Form der entstehenden Kurve beschreiben?

E01b₂**Schülerexperimente
in Lernstationen**Multimedia Projekt
**Mechanik
und
Verkehr**UNIVERSITÄT
**DUISBURG
ESSEN**
Campus Duisburg
Institut für Physik**Station 02****Weg-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung****1. Versuchsmaterial**

Sie benötigen für diesen Versuch die folgenden Materialien:

- a) Rollwagen mit Massestück und Faden
- b) Rollschiene für Wagen
- c) Umlenkrolle mit Halterung
- d) Funkengeber
- e) Netzteil mit Wechselstromausgang
- f) Anschlusskabel
- g) Thermopapierstreifen
- h) Massestück mit Haken

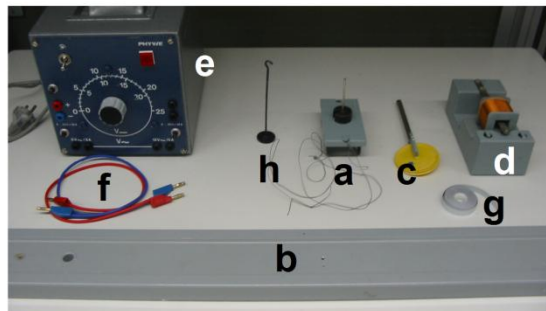


Abbildung 1

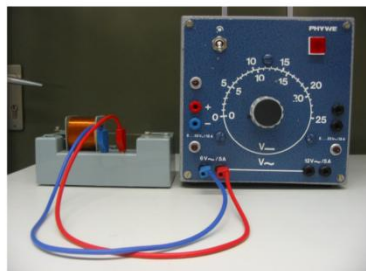
2. Versuchsaufbau

Abbildung 2

Schließen Sie zunächst den Funkengeber (d) mit den Kabeln (f) an den mit **6 V ~ / 5 A** beschrifteten Ausgang des Netzteils (e) an (Abbildung 2).

Stecken Sie dann die Umlenkrolle (c) in die dafür vorgesehene Halterung an der Rollschiene (b) und positionieren Sie diese wie in Abbildung 3 direkt an der Kante des Experimentiertisches.

Setzen Sie den Wagen (a) auf die Schiene (b). Reißen Sie von dem Thermopapierstreifen (g) ein Stück ab, das ein wenig länger ist als die Rollschiene (b) und befestigen Sie es wie in Abbildung 4 an dem Rollwagen (a), indem Sie es durch die Öse ziehen und dann unter dem Massestück festklemmen.

Schieben Sie nun den bereits angeschlossenen Funkengeber (d) so an die Schiene (b) heran, dass sich der am Wagen (a) befestigte Thermopapierstreifen (g) so wie in Abbildung 5 gerade durch die Führung des Funkengebers (d) ziehen lässt.

Führen Sie nun den am Wagen (a) befestigten Faden über die Umlenkrolle (c) und haken Sie das Massestück (h) in die Öse (Abbildung 6).

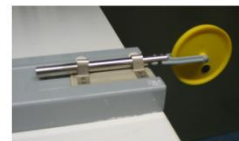


Abbildung 3

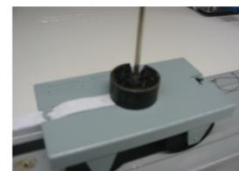


Abbildung 4



Abbildung 6



Abbildung 5

3. Versuchsdurchführung

Ziel des Versuches ist die Messung des Strecke, die der Wagen bei einem gleichmäßigen Beschleunigungsvorgang ohne Anfangsgeschwindigkeit zurücklegt, in Abhängigkeit von der dafür benötigten Zeit.

Gehen Sie hierzu wie folgt vor:

Schieben Sie den Wagen (a) ganz an den Funkengeber (d) heran und halten Sie ihn dort fest (Abbildung 7). Stellen Sie sicher, dass der Thermostreifen (g) beim Rollen des Wagens ungestört und in gerader Linie durch die Führung des Funkengebers (d) gleiten kann und dass der Faden gerade über die Umlenkrolle geführt ist. Schalten Sie nun das Netzteil (e) ein. Da die Netzspannung eine Frequenz von 50 Hz aufweist, erzeugt der Funkengeber nun genau 50 Funken pro Sekunde, und jeder Funken hinterlässt eine Markierung auf dem Thermopapierstreifen (g).

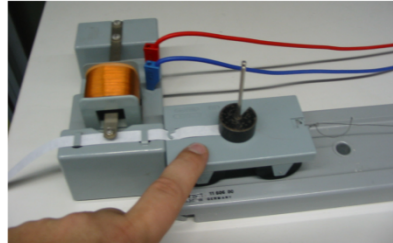


Abbildung 7

Lassen Sie nun den Wagen los. Wenn alles richtig aufgebaut wurde, wird der Wagen durch die Gewichtskraft des Massestücks (h) beschleunigt, der Thermostreifen wird durch den Funkengeber gezogen und während des Beschleunigungsvorgangs des Wagens mit Markierungen versehen.

Lesen Sie nun die Messwerte ab, indem Sie (beginnend beim am Wagen befestigten Ende) die Markierungen auf dem Thermostreifen durchzählen und etwa für jede fünfte deren Abstand vom Startpunkt bestimmen. Tragen Sie jeweils Nummer und Abstand in die Tabelle ein.

Markierungsnummer					
entsprechende Zeit / ms					
gefahrte Strecke / cm					

Markierungsnummer					
entsprechende Zeit / ms					
gefahrte Strecke / cm					

Markierungsnummer					
entsprechende Zeit / ms					
gefahrte Strecke / cm					

4. Versuchsauswertung

Berechnen Sie zu jeder erfassten Markierung die zugehörige Zeit vom Beginn der Messung an (alle 1/50 s erfolgt eine Markierung) und tragen Sie diese in die Tabelle ein.

Erstellen Sie ein Diagramm, in dem Sie die Messwerte für die gefahrte Strecke (y-Achse) gegen die hierfür benötigte Zeit (x-Achse) auftragen. Wählen Sie die Skalierung des Diagramms so, dass das Blatt weitgehend ausgenutzt wird.

Gibt es eine mathematische Funktion, an welche Sie dieses Diagramm erinnert? Überlegen Sie gemeinsam, wie sich Ihre Vermutung durch ein weiteres Diagramm überprüfen lässt.

5.2.1.5 Modul E01 Blatt b - Lernstation 03

E01c₁**Schülerexperimente
in Lernstationen**Multimedia Projekt
**Mechanik
und
Verkehr**UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN
Campus Duisburg
Institut für Physik**Station 03**

Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung

1. Versuchsmaterial

Sie benötigen für diesen Versuch die folgenden Materialien:

- a) Luftkissenfahrbahn mit Stativen
- b) Kompressor, Schlauch
- c) Gleitwagen mit Verdunkler
- d) Lichtschranke
- e) Universalzähler mit Kabeln
- f) Holzmaßstab
- g) Handstoppuhr

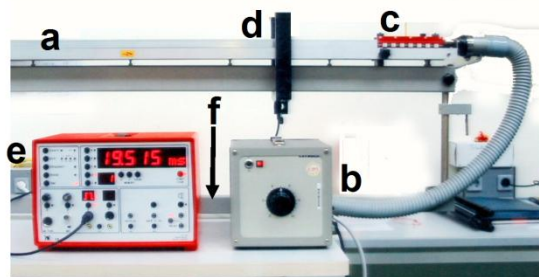


Abbildung 1

2. Versuchsaufbau

Die Luftkissenfahrbahn (a) ist bereits aufgebaut, schräg einjustiert und mit dem Kompressor (b) verbunden. Der Wagen (c) wird nun mit dem Verdunkler nach oben auf die Fahrbahn (a) gesetzt (Abbildung 2). Die Lichtschranke (d) wird mit fest dem angebrachten Magneten so von unten an die Fahrbahn (a) geheftet, dass die Messvorrichtung nach oben zeigt (Abbildung 3). Der Messeingang des Universalzählers (e) wird mit der Lichtschranke verbunden.

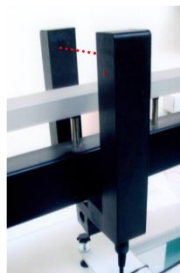


Abbildung 3



Abbildung 2

Richten Sie sich nun den Universalzähler (e) für die Messung ein (Abbildung 4): Drücken Sie **(1)** nach dem Einschalten einmal auf die Taste „Time“ (um auf Zeitmessung umzuschalten), dann **(2)** zweimal auf die Taste „Δt“ (um auf Zeitdauer mit der Einheit ms umzuschalten), und **(3)** schließlich so oft auf die Taste „E“, bis in dem kleinen Display darüber das gleiche Symbol wie in Abbildung 5 erscheint.



Abbildung 5

Schalten Sie den Kompressor ein, der Wagen sollte nun leicht über die Fahrbahn gleiten. Schieben Sie den Wagen in Ausgangsstellung (linker Anschlag) und drücken Sie am Universalzähler die Taste „Start/Stopp“ **(4)**, um das Gerät messbereit zu machen.

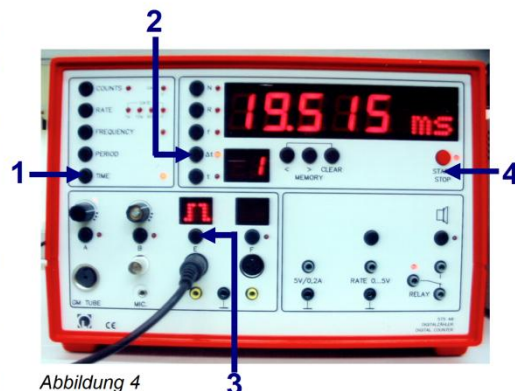


Abbildung 4

3. Versuchsdurchführung

Ziel des Versuches ist die Messung des Geschwindigkeit des Wagens auf dieser schiefen Ebene bei einem Beschleunigungsvorgang ohne Anfangsgeschwindigkeit zurücklegt, einerseits in Abhängigkeit von dem zurückgelegten Weg, andererseits von der dafür benötigten Zeit.

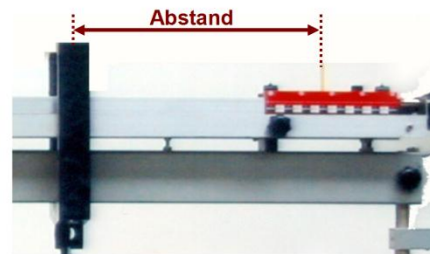


Abbildung 6

Gehen Sie hierzu wie folgt vor:

Schieben Sie den Wagen in Ausgangsstellung (linker Anschlag). Plazieren Sie die Lichtschranke so, dass die Mitte des Verdunklers und die Mitte der Lichtschranke einen Abstand von 5 cm aufweisen (Abbildung 6). Verwenden Sie zur Messung den Holzmaßstab (f). Tragen Sie den Wert in die unten stehende Tabelle ein. Bringen Sie nun den Wagen in Ausgangsposition (linker Anschlag) und drücken Sie den Reset-Taster an der Handstoppuhr (g). Lassen Sie den Wagen los und starten Sie gleichzeitig die Zeitmessung mit der Handstoppuhr. Stoppen Sie die Zeitmessung genau in dem Moment, wenn die Lichtschranke durchquert wird. Notieren Sie die Laufzeit des Wagens (Handstoppuhr) und die Verdunklungszeit (Universalzähler) in der unten stehenden Tabelle unter dem zugehörigen Weg.

Wiederholen Sie den beschriebenen Ablauf für verschiedene Wege (Abstände) und notieren Sie alle Messwerte in der Tabelle. Vergrößern Sie hierzu vor bei jeder Messung den Abstand um einen kleinen Betrag, sodass Sie nach 10 Messungen etwa am linken Ende der Fahrbahn angekommen sind.

Strecke / cm					
Laufzeit / s					
Verdunklungszeit / ms					
Geschwindigkeit / m/s					

Strecke / cm					
Laufzeit / s					
Verdunklungszeit / ms					
Geschwindigkeit / m/s					

4. Versuchsauswertung

Messen Sie die Breite des Verdunklers. Bestimmen Sie mit Hilfe dieses Wertes für jede Messung aus der Verdunklungszeit die Geschwindigkeit. Nehmen Sie dazu an, dass die Strecke so klein ist, dass die Geschwindigkeit auf diesem kleinen Stück näherungsweise konstant ist (wie bei einer gleichförmigen Bewegung).

Fertigen Sie zwei Diagramme an: Tragen Sie im ersten die berechnete Geschwindigkeit gegen die gemessene Laufzeit auf, im zweiten die Geschwindigkeit gegen den zurückgelegten Weg. Wählen Sie für beide Diagramme einen geeigneten Maßstab, so dass das verwendete Blatt annähernd vollständig ausgenutzt wird. Wie würden Sie den Verlauf der entstehenden Kurven beschreiben?

E01c₂**Schülerexperimente
in Lernstationen**Multimedia Projekt
**Mechanik
und
Verkehr**UNIVERSITÄT
**DUISBURG
ESSEN**
Campus Duisburg
Institut für Physik

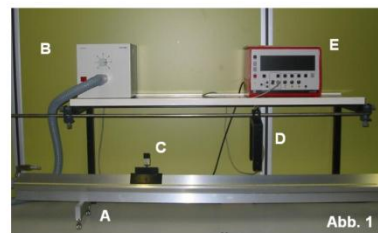
Station 03

Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung

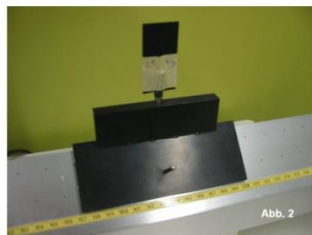
1. Versuchsmaterial

Sie benötigen für diesen Versuch folgende Materialien:

- a) Luftkissenfahrbahn
- b) Kompressor, Schlauch
- c) Gleitwagen mit Reiter
- d) 1 Lichtschranke
- e) Präzisionszeitmesser mit Kabeln
- f) Messschieber (nicht abgebildet) & Zollstock
- g) Stoppuhr



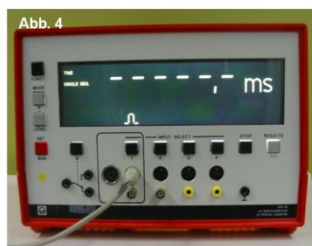
2. Versuchsaufbau



Die Luftkissenfahrbahn (a) ist bereits aufgebaut, schräg einjustiert und mit dem Kompressor (b) verbunden. Der Wagen (c) wird nun mit dem Verdunkler nach oben auf die Fahrbahn (a) gesetzt (Abb. 2). Die Lichtschranke (d) wird so von unten an die dafür vorgesehene Schiene geklemmt, dass die Messvorrichtung nach unten zeigt (Abb. 3).



Der Präzisionszeitmesser ist bereits mit der Lichtschranke verbunden. Sie müssen das Messgerät (Abb. 4) nur noch korrekt einstellen. Dazu betätigen Sie folgende Tasten in der Reihenfolge: 1 x „FUNCT“, 1 x „MODE“, 2 x „1“, 1 x „R“, 1 x „STOP“ und für jede Messung die Start-Taste. Schalten Sie nun den Kompressor ein. Der Wagen sollte nun leicht und fast reibungsfrei über die Fahrbahn gleiten. Schieben Sie den Wagen bis zum Anschlag ans höhere Ende der Luftkissenbahn (Grundstellung)



und lassen Sie ihn los (Abb. 5). Überzeugen Sie sich, dass die Zeitmessung beim Durchqueren der Lichtschranke startet und nach dem Durchqueren endet. Zum Zurücksetzen des Messgeräts in den eingestellten Ursprungszustand drücken Sie einmal auf den Reset-Taster.



3. Versuchsdurchführung

Ziel des Versuches ist die Messung der Momentangeschwindigkeit, die der Wagen bei dieser gleichmäßig beschleunigten Bewegung ohne Anfangsgeschwindigkeit an verschiedenen Stellen der Bahn und zu verschiedenen Zeitpunkten besitzt.

Gehen Sie hierzu wie folgt vor:

Bringen Sie den Wagen zunächst in Grundstellung und platzieren Sie die Lichtschranke so dicht neben dem Gleiter, dass soeben nicht die Zeitmessung durch den Verdunkler aktiviert wird. Markieren Sie diese Position - dies ist Ihr Nullpunkt für die folgenden Messungen. Bei jedem Durchlauf ändern Sie dann erst die Position der Lichtschranke und notieren den Abstand vom Nullpunkt in der Tabelle. Dann bringen Sie den Gleiter in Grundstellung, setzen Sie den Zeitmesser durch Drücken der Reset-Taste zurück und stellen Ihre Handstoppuhr auf Null. Dann drücken Sie an Ihrer Handstoppuhr die Starttaste und lassen gleichzeitig den Gleiter los. Nachdem der Wagen die Lichtschranke passiert hat, tragen Sie die angezeigte Verdunklungszeit zu der entsprechenden Strecke in die Tabelle ein. Führen Sie diesen Vorgang für 10 verschiedene Positionen der Lichtschranke durch. Dabei ist es sinnvoll, die Lichtschranke jeweils um die gleiche Strecke zu versetzen.

Strecke / cm					
Laufzeit / s					
Verdunklungszeit / ms					
Geschwindigkeit / m/s					

Strecke / cm					
Laufzeit / s					
Verdunklungszeit / ms					
Geschwindigkeit / m/s					

4. Versuchsauswertung

Messen Sie die Breite des Verdunklers. Bestimmen Sie mit Hilfe dieses Wertes und den gemessenen Verdunklungszeiten für jeden Durchgang die Geschwindigkeit. Nehmen Sie dazu an, dass die Strecke so klein ist, dass die Geschwindigkeit auf diesem kleinen Stück näherungsweise konstant ist (wie bei einer gleichförmigen Bewegung).

Fertigen Sie zwei Diagramme an: Tragen Sie im ersten die berechnete Geschwindigkeit gegen die gemessene Laufzeit auf. Im zweiten tragen Sie die Geschwindigkeit gegen den zurückgelegten Weg auf. Wählen Sie für beide Diagramme einen geeigneten Maßstab, so dass das verwendete Blatt annähernd vollständig ausgenutzt wird. Wie würden Sie den Verlauf der entstehenden Kurven beschreiben?

5.2.1.6 Modul E01 Blatt d - Lernstation 04

E01d₁**Schülerexperimente
in Lernstationen**Multimedia Projekt
**Mechanik
und
Verkehr**UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN
Campus Duisburg
Institut für Physik**Station 04**

Weg-Zeit-Gesetz der gleichmäßig verzögerten Bewegung

1. Versuchsmaterial

Sie benötigen für diesen Versuch die folgenden Materialien:

- a) Dreirädriger Wagen
- b) Schiene für Wagen
- c) Holzmaßstab
- d) Handstoppuhren
- e) Kreide
- f) Buch als Unterlage

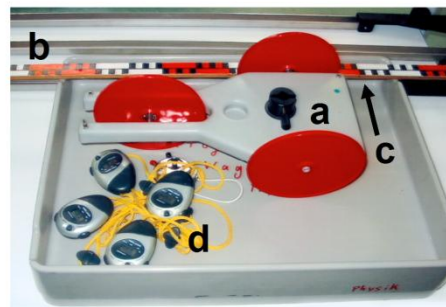


Abbildung 1

2. Versuchsaufbau

Suchen Sie einen geeigneten Platz für den Aufbau der Schiene (b). Es sollte sich um einen möglichst ebenen, griffigen Untergrund handeln, der auf einer möglichst langen, geraden Strecke (etwa 10 m sollten es sein) keine wesentlichen Unebenheiten oder Beschädigungen aufweist. Platzieren Sie die Schiene (b) wie in Abbildung 3 ersichtlich am Anfang der Strecke, so dass die gedachten geraden Verlängerungen der Schiene eine freie Wegstrecke ergeben. Erhöhen Sie die

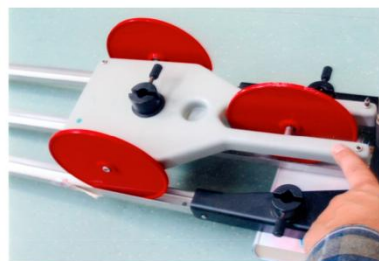


Abbildung 4

Halterung, aus welcher die eigentlichen Schienen hervorgehen, mit einem Buch (f) um ca. 5 - 10 cm, so dass die Halterung waagrecht liegt, und justieren Sie die drei Einzelschienen so, dass sie parallel verlaufen (Abbildung 2).

Nehmen Sie nun den Maßstab (c) zur Hilfe und bringen Sie auf dem Boden in Regelmäßigen Abständen (etwa 1 m) mindestens



Abbildung 2

10 Markierungen an (Abbildung 3). Platzieren Sie nun ein Mitglied Ihrer Gruppe an der Schiene (um den Wagen zu starten), rüsten Sie einen mit Schreibzeug aus und verteilen Sie die restlichen Mitglieder mit je einer Handstoppuhr (d) ausgestattet an den Kreidemarkierungen. Jeder von ihnen ist bei jeder Messung für je eine Markierung verantwortlich („Streckenposten“). Setzen Sie den Wagen so auf die Schiene wie in Abbildung 4 gezeigt, sodass er am oben Ende der Schiene anschlägt (Grundstellung).



Abbildung 3

Überzeugen Sie sich, dass der Wagen die Schiene sauber herunterrollt, wenn Sie ihn loslassen, und dass er innerhalb der verfügbaren Strecke ohne Anzustoßen zum Stehen kommt. Sollte dies nicht der Fall sein, variieren Sie die Höhe und Ausrichtung der Schiene, bis Sie mit dem Ergebnis zufrieden sind. Tragen Sie die für jeden Kreidestrich dessen Abstand vom Ende der Schiene in die Tabelle unter „Strecke“ ein.

3. Versuchsdurchführung

Ziel des Versuches ist die Messung der Strecke, die der Wagen, wenn er mit einer definierten Anfangsgeschwindigkeit startet, beim Vorgang des Abbremsens bis zum Stillstand zurücklegt, in Abhängigkeit von der dafür benötigten Zeit.

Gehen Sie hierzu wie folgt vor:

Bringen Sie für jede Messung den Wagen in Grundstellung (Abbildung 4) und stellen Sie alle Handstoppuhren mit der Taste „Reset“ auf Null zurück. Wenn alle bereit sind, lassen Sie den Wagen los. Der Bediener des Wagens gibt laut ein Startkommando, sobald der Wagen von der Schiene auf den Boden aufgesetzt hat. Die „Streckenposten“ starten genau in diesem Moment die Zeitmessung, beobachten genau den Lauf des Wagens und stoppen die Messung, sobald die hintere Achse des Wagens „ihren“ Kreidestrich passiert.

Tragen Sie die gemessenen Zeiten unter den entsprechenden Strecken in die Tabelle ein. Wiederholen Sie den Vorgang so oft unter Wechsel der Streckenposten, bis Sie für jeden Kreidestrich 3 Messwerte für die Zeit ermittelt haben.

Strecke / cm															
Laufzeit / s (Einzel)															
Laufzeit / s (Mittel)															

Strecke / cm															
Laufzeit / s (Einzel)															
Laufzeit / s (Mittel)															

4. Versuchsauswertung

Berechnen Sie zu jedem Kreidestrich die mittlere Laufzeit. Addieren Sie hierzu die drei Einzelnen Messwerte und dividieren Sie das Ergebnis durch die Anzahl der Wert, also 3. Tragen Sie die Ergebnisse in die Tabelle ein.

Fertigen Sie ein Diagramm an, indem Sie die zurückgelegte Strecke gegen bis dort benötigte Laufzeit des Wagens auf. Wählen Sie für beide Diagramme einen geeigneten Maßstab, so dass das verwendete Blatt annähernd vollständig ausgenutzt wird. Wie würde Sie die entstehende Kurve beschreiben?

E01d₂**Schülerexperimente
in Lernstationen**Multimedia Projekt
**Mechanik
und
Verkehr**UNIVERSITÄT
**DUISBURG
ESSEN**
Campus Duisburg
Institut für Physik

Station 04

Weg-Zeit-Gesetz der gleichmäßig verzögerten Bewegung

1. Versuchsmaterial

Sie benötigen für diesen Versuch die folgenden Materialien:

- a) Rollwagen mit Massestück
- b) Rollschiene für Wagen
- c) Stativkonstruktion für Schiene
- d) Maßband
- e) Digitalstoppuhr
- f) Ein Stück Kreide

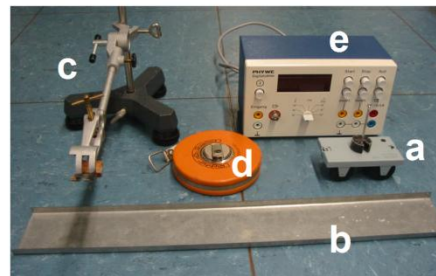


Abbildung 1

2. Versuchsaufbau

Befestigen Sie die Rollschiene (b) so an der Klemmvorrichtung der Stativkonstruktion (c), dass die Schiene eine schiefe Ebene bis zum Boden bildet, wie in Abbildung 2 zu sehen. Suchen Sie nun einen geeigneten Platz für Konstruktion. Es sollte sich um einen möglichst ebenen, griffigen Untergrund handeln, der auf einer möglichst langen, geraden Strecke (etwa 5 m sollten es sein) keine wesentlichen Unebenheiten oder Beschädigungen aufweist. Platzieren Sie die Schiene (b) wie in Abbildung 3 am Anfang der Strecke, so dass die gedachte gerade Verlängerung der Schiene eine freie Wegstrecke ergibt.



Abbildung 2



Abbildung 3

Nehmen Sie nun das Maßband (d) zur Hilfe und bringen Sie auf dem Boden in regelmäßigen Abständen (etwa 0,5 m) mindestens 10 Markierungen an (Abbildung 3). Setzen Sie den Wagen so auf die Schiene wie in Abbildung 4 gezeigt, sodass er am oberen Ende der Schiene anschlägt (Grundstellung). Überzeugen Sie sich, dass der Wagen die Schiene sauber herunterrollt, wenn Sie ihn loslassen, und dass er innerhalb der mit Markierungen versehenen Strecke ohne anzustoßen zum Stehen kommt. Sollte dies nicht der Fall sein, variieren Sie die Höhe und Ausrichtung der Schiene, bis Sie mit dem Ergebnis zufrieden sind. Nehmen Sie nun die Digitalstoppuhr (e) durch Drücken des Schalters (1) in Betrieb. Ein Gruppenmitglied wird mit der Uhr an einem der Kreidestriche positioniert („Streckenposten“). Sollten weitere Stoppuhren vorhanden sein (Armbanduhr, Handy), können weitere Gruppenmitglieder zu Streckenposten ernannt werden.



Abbildung 4

5.2.1.7 Modul E01 Blatt e - Lernstation 05

E01e₁**Schülerexperimente
in Lernstationen**Multimedia Projekt
**Mechanik
und
Verkehr**UNIVERSITÄT
**DUISBURG
ESSEN**
Campus Duisburg
Institut für Physik**Station 05**

Haften und Gleiten

1. Versuchsmaterial

Sie benötigen für diesen Versuch die folgenden Materialien:

- a) Holzquader mit Ösen an den schmalen Enden und Sandpapier auf einer Fläche
- b) Federkraftmesser 2N
- c) Gewichtstücke
- d) Sandpapierstreifen

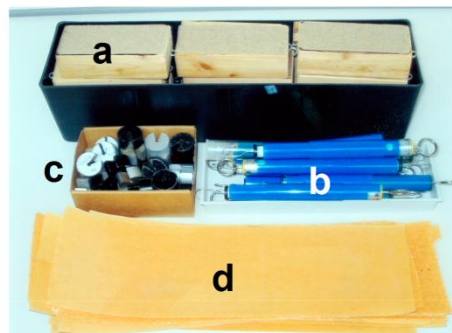


Abbildung 1

2. Versuchsaufbau

Wählen Sie einen Tisch mit einer sauberen und unbeschädigten Oberfläche als Arbeitsplatz. Nehmen Sie sich pro Gruppenmitglied einen Holzquader (a), einen Federkraftmesser (b), einige Gewichtstücke sowie verschieden grobes Sandpapier. Probieren Sie, den Haken des Federkraftmessers in eine Öse des Holzquaders einzuhaken und diesen daran über den Tisch zu ziehen. Probieren Sie das ganze auch auf Sandpapier (d).

3. Versuchsdurchführung

Ziel des Versuches ist es, die Phänomene der Haftreibung und der Gleitreibung kennen zu lernen und herauszufinden, von welchen Faktoren diese in welcher Weise abhängig ist und von welchen Faktoren eben nicht.

Wenn Sie mit dem Kraftmesser vorsichtig wagerecht an dem Klotz ziehen, werden Sie feststellen, dass Sie eine relativ große Kraft aufwenden können, bevor der Klotz sich plötzlich in Bewegung setzt. Die maximal auf diese Weise übertragbare Kraft nennen wir Haftgrenze. Versuchen Sie, den Klotz nach Überschreiten der Haftgrenze gleichmäßig mit konstanter Geschwindigkeit über den Tisch oder das Sandpapier zu ziehen. Auch dabei kann man eine Kraft an dem Kraftmesser ablesen, welche wir Gleitreibung nennen.

Variieren Sie nun folgende Parameter: Den Untergrund (Tisch, Sandpapier, etc.), die Oberfläche des Klotzes (raue oder glatte Seite), die Größe der Auflagefläche (durch Wenden des Klotzes), die Masse des Klotzes (durch auflegen von Gewichtstücken (c)), die Zuggeschwindigkeit und alles, was Ihnen sonst noch an Möglichkeiten einfällt. Seien Sie kreativ! Bestimmen Sie bei jedem Durchgang die Haftgrenze und Gleitreibungskraft.

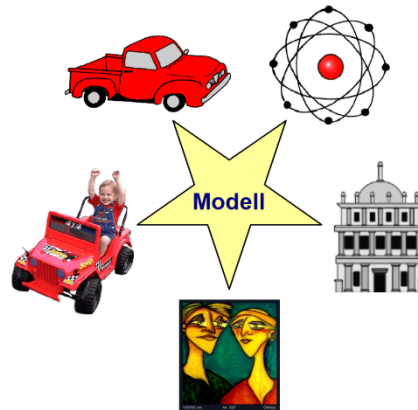
4. Versuchsauswertung

Ermitteln Sie für jede Variation, ob eine Abhängigkeit zu bestehen scheint und welcher Art sie ist (je - desto) und notieren Sie Ihre Ergebnisse. Auch Nichtabhängigkeiten sind interessant!

5.2.1.8 Modul M01 Blatt a - Physikalischer Modellbegriff

M01a**Einführung in die
Modellbildung**Multimedia Projekt
**Mechanik
und
Verkehr**UNIVERSITÄT
**DUISBURG
ESSEN**
Campus Duisburg
Institut für Physik**Was ist ein Modell?**

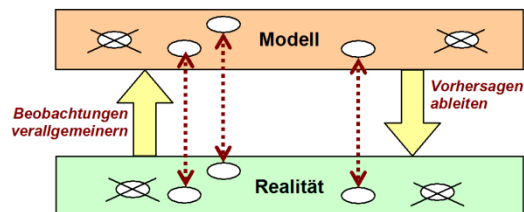
Wir wollen uns in den folgenden Unterrichtsstunden mit „Modellbildung“ beschäftigen. Aber was ist eigentlich ein Modell? Kinder spielen zum Beispiel mit *Modell*-Autos; der Künstler betrachtet sein *Modell* als Vorlage für seine Werke; ein Architekt erstellt verkleinerte Anschauungs-*Modelle* eines geplanten Bauwerks für seine Kunden; ein Autohersteller bezeichnet die neue Baureihe eines Fahrzeugs als *Modell*. Wahrscheinlich fallen Ihnen noch viel mehr Beispiele für die vielschichtigen Bedeutungen dieses Begriffs ein. In der Physik ist der Modellbegriff genau definiert und spielt gerade in der Forschung eine wichtige Rolle.

**Der Begriff des Modells in der Physik**

In der Physik versteht man unter einem Modell eine vereinfachte, verallgemeinerte Repräsentation eines genau festgelegten Ausschnitts der Wirklichkeit, auch System genannt. Dabei müssen die Grenzen des Systems präzise definiert werden, d.h. man muss sich entscheiden, was dazugehören soll und was nicht.

Der Physiker entwirft ein solches Modell aufgrund von gezielten Beobachtungen, die er verallgemeinert. Das Modell soll das reale System so gut wie möglich widerspiegeln. Mit Hilfe dieses Modells möchte der Physiker dann Vorhersagen über zukünftige Beobachtungen ableiten. Sind sie falsch, muss er sein Modell überarbeiten. So werden physikalische Modelle ständig besser, die Vorhersagen stimmen mit den Beobachtungen immer genauer überein. Es liegt aber in der Natur des Modells, dass es niemals alle Aspekte eines Realsystems erfasst.

Ein Modell kann sprachlich formuliert werden, in Form von mathematischen Formeln oder auch durch graphische Darstellungen. Die Modellsprache, die wir verwenden wollen, kombiniert graphische Elemente mit einfachen mathematischen Formeln (siehe Blatt M01c).



5.2.1.9 Modul M01 Blatt b - Flussdiagramme

M01b

Einführung in die
Modellbildung

Multimedia Projekt
Mechanik
und
Verkehr

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN
Campus Duisburg
Institut für Physik

Flussdiagramme

Zustandsgrößen

sind die Größen, die mindestens erforderlich sind, um den Zustand eines Systems vollständig zu beschreiben. Es sind Speichergrößen, die ihren Wert von einem Zeitpunkt zum nächsten nur um kleine Beträge (definiert durch Änderungsraten) ändern können, vergleichbar mit einem Wasserbecken, dem man Wasser hinzufügen oder entnehmen kann.

Änderungsraten

bestimmen, um welchen Betrag sich eine Zustandsgröße in einem bestimmten Zeitintervall ändert. Sie sind vergleichbar mit einer Rohrleitung, durch die Wasser in unser Becken (eine Zustandsgröße) hinein oder heraus fließen kann, wobei ein Ventil die Durchflussgeschwindigkeit bestimmt. In einem zeitlichen Diagramm geben sie die aktuelle Steigung an.

Zwischengrößen

nehmen in Abhängigkeit von anderen Größen einen Wert an, der zu jedem Zeitpunkt neu berechnet wird. Je nach Art der Berechnung unterscheidet man zwei Arten von Zwischengrößen:

Formelgrößen

berechnen ihren Wert aus einer mathematischen Formel, in der andere Größen vorkommen können.

Tabellengrößen

enthalten eine Tabelle mit Wertepaaren, etwa aus einer Messung. Zwischenwerte werden berechnet.

Parameter

sind Größen, die nicht durch andere Größen innerhalb des Systems beeinflusst werden. Man unterscheidet auch hier wiederum zwei Arten von Parametern:

Konstanten

sind konstant, das heißt sie ändern sich zeitlich überhaupt nicht.

Exogene Größen

werden durch Bedingungen außerhalb des Systems beeinflusst.

Verzweigungen

vergleichen den Wert einer Größe mit dem einer anderen Größe oder mit einem Zahlenwert. Dazu wird eine Aussage wie „Größe 1 ist kleiner als Größe 2“ bei jedem Zeitschritt überprüft. Je nachdem, ob die Aussage aktuell gerade wahr oder falsch ist, nimmt die Verzweigung einen von zwei vorgegebenen Werten an.

Zuordnungen

zeigen an, dass eine Größe durch eine andere beeinflusst wird. Kommt also etwa ein Parameter P in der Formel der Zwischengröße Z vor, so zeigt der Zuordnungspfeil von P nach Z. Der Modelleditor kann Zuordnungen bei Bedarf automatisch erzeugen.

© 2004 / Alexander Busse

Unterrichtspraktische Studie im Rahmen eines Promotionsvorhabens

5.2.1.10 Modul L03 - Rollenkarten

Rolle I: Fahrer	Rolle II: Beifahrerin
<ul style="list-style-type: none"> ▶ ist mit Beifahrerin (II) schon länger zusammen (ein Paar) ▶ ist schlecht drauf, weil der Tag stressig war ▶ hatte vor Antritt der Fahrt Zoff mit seiner Freundin (II) ▶ kennt Mitfahrer (III) schon lange und ist eng mit ihm befreundet ▶ hat keinen Kontakt zu Mitfahrerin (IV), die Freundin seines Freundes (III) ist und neu in der Gruppe ▶ fährt schnell und aggressiv und wird von seiner Freundin (II) zur Rede gestellt 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ ist mit Fahrer (I) schon länger zusammen ▶ kennt seinen Hang zum „Schnell Fahren“ ▶ hatte mit ihrem Freund (I) vor Antritt der Fahrt Zoff ▶ kennt Mitfahrer (III) schon länger ▶ kennt Mitfahrerin (IV) noch nicht ▶ stellt ihren Freund (I) zur Rede, als dieser zu schnell und aggressiv fährt
Rolle III: Mitfahrer	Rolle IV: Mitfahrerin
<ul style="list-style-type: none"> ▶ ist mit Fahrer (I) eng befreundet ▶ kennt auch die Freundin des Fahrers (II) gut ▶ hält während des Wortwechsels zwischen Fahrer (I) und Beifahrerin (II) zu seinem Freund (I) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ ist neu in der Gruppe ▶ kennt nur Mitfahrer (III), mit dem sie zusammen ist ▶ fühlt sich während der Fahrt nicht wohl

5.2.2 *Material zur empirischen Studie*

Zur Evaluation der in Abschnitt 3.3 vorgestellten Unterrichtsreihe sowie der in Abschnitt 2.3.1 thematisierten Lernsoftware wurde ein Fragebogen entwickelt, welcher in Abschnitt 4.1.2 besprochen wird. Der Fragebogen wurde nach Abschluss der Unterrichtsreihe den beteiligten Lehrkräften ausgehändigt und von diesen eigenständig in einer Unterrichtsstunde an die Schüler verteilt und nach der Bearbeitung wieder eingesammelt.

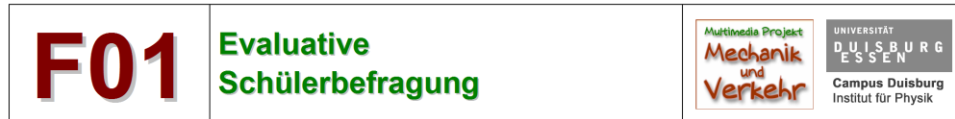
Die Informationen, welche den Lehrern hierzu zur Verfügung gestellt wurden, sind in Abschnitt 5.2.2.1 abgedruckt, der Fragebogen selbst in Abschnitt 5.2.2.2. Wie bereits in Abschnitt 5.2.1 sind alle Dokumente etwas verkleinert und mit einem Rahmen versehen. Ansonsten entsprechen sie aber genau dem Original. Außerdem sind sie ebenfalls als PDF-Dateien auf dem beiliegenden Datenträger zu finden.

Zur eindeutigen Kennzeichnung sind alle Fragebögen

- erstens mit einer Paketnummer versehen, welche verschlüsselt die Schule und den Kurs bezeichnet, in welcher die jeweilige Befragung durchgeführt wurde, und
- zweitens innerhalb der Pakete mit einer laufenden Nummer versehen, wobei jeweils „MV“ für die beschulten Lerngruppen und „VG“ für die Vergleichsgruppen vorangestellt wurde.

Der abgedruckte Fragebogen ist exemplarisch mit einer Paketnummer und einer Bogennummer versehen.

5.2.2.1 Lehrerinformation



Informationen für beteiligte Lehrkräfte

Sehr geehrte Damen und Herren,

vielen Dank, dass Sie sich bereit erklärt haben, Ihren Physik-Kurs für diese Schülerbefragung zur Verfügung zu stellen. Sie dient der abschließenden Evaluation einer unterrichtspraktischen Studie im Rahmen eines Promotionsvorhabens. Sie ist außerdem eingebunden in ein wissenschaftliches Forschungsprojekt namens „Mechanik und Verkehr“ am Institut für Physik der Universität Duisburg-Essen.

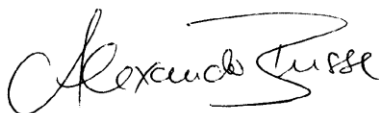
Bitte beachten Sie bei der Durchführung der Befragung folgende Hinweise:

- ▶ Die Bearbeitungszeit beginnt nach Verteilung aller Fragebögen und sollte 45 min nicht überschreiten.
- ▶ Die Fragebögen sollten mit Kugelschreiber oder Tinte ausgefüllt werden, bitte nicht mit Bleistift.
- ▶ Formale Fragen der Probanden können auch während der Bearbeitung beantwortet werden, inhaltliche bitte nicht.
- ▶ Bitte leiten Sie die ausgefüllten Fragebögen unangesehen an mich zurück. Eine Verwendung zur Leistungsbewertung ist aus datenschutzrechtlichen Gründen leider nicht möglich.

Sofern es sich organisatorisch einrichten lässt, würde ich an der Befragung gern persönlich teilnehmen. Für Fragen oder Absprachen stehe ich unter

0178 / 3571974 oder alex.busse@uni-duisburg.de

gern zur Verfügung. Noch einmal vielen Dank für Ihre Bemühungen!



5.2.2.2 Schülerfragebogen

F01	Evaluative Schülerbefragung	 		
<i>Paket-Nummer</i>	<i>Bogen-Nummer</i>			
GS01A	MV001			
<p>Liebe Schülerin, lieber Schüler,</p> <p>vielen Dank für Ihre Teilnahme an dieser Befragung. Sie wird durchgeführt vom Institut für Physik der Universität Duisburg-Essen und ist eingebunden in ein physikdidaktisches Forschungsprojekt mit dem Titel „Mechanik und Verkehr“. Außerdem ist sie Bestandteil einer wissenschaftlichen Studie im Rahmen eines Promotionsvorhabens.</p> <p>Alle Angaben werden streng vertraulich behandelt, ausschließlich zu wissenschaftlichen Zwecken verwendet und nicht an Dritte weitergegeben. Sollten Sie Fragen zur Durchführung der Studie, zum zugrunde liegenden wissenschaftlichen Konzept oder zur Verwendung Ihrer Daten haben, wenden Sie sich bitte an folgende Personen:</p>				
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Verantwortlich für Planung und Durchführung der Unterrichtsreihe und ihrer Evaluation:</i></p> <p>Alexander Busse Universität Duisburg-Essen, Campus Duisburg Institut für Physik, Sektion Didaktik der Physik Lotharstraße 1, ME 125, 47048 Duisburg Mail: alex.busse@uni-duisburg.de</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p><i>Gesamtleitung und Vertretung des Projektes „Mechanik und Verkehr“:</i></p> <p>Dr. André Bresges Universität Duisburg-Essen, Campus Duisburg Institut für Physik, Sektion Didaktik der Physik Lotharstraße 1, ME 125, 47048 Duisburg Mail: bresges@uni-duisburg.de</p> </td> </tr> </table>			<p><i>Verantwortlich für Planung und Durchführung der Unterrichtsreihe und ihrer Evaluation:</i></p> <p>Alexander Busse Universität Duisburg-Essen, Campus Duisburg Institut für Physik, Sektion Didaktik der Physik Lotharstraße 1, ME 125, 47048 Duisburg Mail: alex.busse@uni-duisburg.de</p>	<p><i>Gesamtleitung und Vertretung des Projektes „Mechanik und Verkehr“:</i></p> <p>Dr. André Bresges Universität Duisburg-Essen, Campus Duisburg Institut für Physik, Sektion Didaktik der Physik Lotharstraße 1, ME 125, 47048 Duisburg Mail: bresges@uni-duisburg.de</p>
<p><i>Verantwortlich für Planung und Durchführung der Unterrichtsreihe und ihrer Evaluation:</i></p> <p>Alexander Busse Universität Duisburg-Essen, Campus Duisburg Institut für Physik, Sektion Didaktik der Physik Lotharstraße 1, ME 125, 47048 Duisburg Mail: alex.busse@uni-duisburg.de</p>	<p><i>Gesamtleitung und Vertretung des Projektes „Mechanik und Verkehr“:</i></p> <p>Dr. André Bresges Universität Duisburg-Essen, Campus Duisburg Institut für Physik, Sektion Didaktik der Physik Lotharstraße 1, ME 125, 47048 Duisburg Mail: bresges@uni-duisburg.de</p>			
<p>Durch die sorgfältige Bearbeitung der nachfolgenden Fragen leisten Sie einen wertvollen Beitrag zur Verbesserung des naturwissenschaftlich-technischen Unterrichts.</p> <p>Vielen Dank für Ihre Mithilfe und gutes Gelingen!</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div>				
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> © 2004-2005 / Alexander Busse Schülerbefragung / Paket GS01A / Bogen MV001 / Seite 1 </div>				

I. Allgemeine Angaben**A. Zeitpunkt der Erhebung**

1. Datum der Befragung:

B. Fragen zur Person

1. Name:
- (kann durch Kennwort ersetzt werden)

2. Alter:

☐ 14 Jahre ☐ 15 Jahre ☐ 16 Jahre ☐ 17 Jahre ☐ 18 Jahre ☐ 19 Jahre ☐ 20 Jahre

3. Geschlecht:

☐ männlich ☐ weiblich
C. Fragen zur Lerngruppe

1. Schulform:

☐ Hauptschule ☐ Realschule ☐ Gymnasium ☐ Gesamtschule ☐ Berufskolleg ☐ Betrieb

2. Name der Schule / des Betriebes:

3. Angestrebter Bildungsabschluss:

☐ Hauptschulabschluss ☐ Mittlere Reife ☐ Fachhochschulreife
☐ Abitur ☐ Berufsausbildung ☐ Sonstiges

4. Angestrebter Beruf:

5. Jahrgangsstufe / Lehrjahr:

☐ Jgst. 9 ☐ Jgst. 10 ☐ Jgst. 11 ☐ Jgst. 12 ☐ Jgst. 13
☐ Lehrjahr 1 ☐ Lehrjahr 2 ☐ Lehrjahr 3

6. Art und Bezeichnung des Kurses:

7. Name der Kurslehrerin / des Kurslehrers:
- (zu Beginn der Unterrichtsreihe)

8. Wurden Probleme aus dem Straßenverkehr im Unterricht thematisiert?

☐ Ja ☐ Nein

II. Einschätzungen und Fakten zur eigenen Person

A. Voraussetzungen zur Teilnahme am Straßenverkehr

1. Besitzen Sie einen **Führerschein** oder sind Sie zur Zeit in der **Fahrschul Ausbildung**?

- ☐ **Ja**, ich besitze einen Führerschein / eine Prüfbescheinigung.
☐ **Ja**, ich absolviere zur Zeit die Fahrschul Ausbildung.
☐ **Nein**, aber ich habe vor, bald mit der Fahrschul Ausbildung zu beginnen.
☐ **Nein**, und zur Zeit ist der Führerscheinwerb auch nicht geplant.

2. Falls Sie die vorhergehende Frage mit **Ja** beantwortet haben:

- (a) **Seit wann** etwa besitzen Sie den Führerschein / sind Sie in der Ausbildung?
(Monat und Jahr, sofern bekannt)

--	--

(b) Für welche Fahrzeugklasse ist der Führerschein gültig?

- ☐ Mofa ☐ Moped (M) ☐ Motorrad (A) ☐ PKW (B) ☐ LKW (C)
☐ Bus (D) ☐ Anhänger (E) ☐ Sonstige ☐ Ich weiß nicht

3. Inwieweit haben / hätten Sie **Zugriff auf ein Kraftfahrzeug**?

- ☐ **Ja**, ich besitze ein eigenes Fahrzeug.
☐ **Ja**, ich kann / könnte regelmäßig das Fahrzeug eines Freundes / Familienmitgliedes mitbenutzen.
☐ **Ja**, ich kann / könnte mir gelegentlich ein Fahrzeug leihen.
☐ **Nein**, ich habe / hätte keinen Zugriff auf ein Fahrzeug.

4. Falls Sie die vorhergehende Frage mit **Ja** beantwortet haben:

- (a) **Marke** des Fahrzeugs:

--

(b) Name des **Modells**:

--

- (c) **Baujahr** des Fahrzeugs: (falls unbekannt bitte schätzen)

--

B. Persönliche Interessen und Einschätzungen

⇒ Bitte geben Sie Ihre Einschätzungen zur den folgenden Fragen auf einer Skala von 1 bis 6 an:

1. Inwieweit treffen die folgenden Aussagen über bestimmte private Interessen für Sie persönlich zu?

(a) Ich spiele gern **Computerspiele** oder nehme gelegentlich an LAN-Parties Teil.

trifft überhaupt nicht zu ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 trifft voll und ganz zu

(b) Ich interessiere mich für **Administration, Webdesign** oder **Programmierung**.

trifft überhaupt nicht zu ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 trifft voll und ganz zu

(c) Ich nutze Computer für **Internet, eMails** oder **Chats**.

trifft überhaupt nicht zu ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 trifft voll und ganz zu

(d) Ich kann mich für **technische Errungenschaften** und Geräte begeistern.

trifft überhaupt nicht zu ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 trifft voll und ganz zu

(e) Ich interessiere mich für **Autos** oder **Motorräder**.

trifft überhaupt nicht zu ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 trifft voll und ganz zu

(f) Ich nehme selbst **technische Änderungen, Reparaturen** oder **Verschönerungen** meines Fahrzeugs vor.

trifft überhaupt nicht zu ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 trifft voll und ganz zu

2. Inwieweit können Sie den folgenden **Aussagen über Physik** aufgrund Ihrer bisherigen Erfahrungen in Unterricht und Privatleben zustimmen?

(a) Physik ist eine **interessante Wissenschaft**.

trifft überhaupt nicht zu ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 trifft voll und ganz zu

(b) Physik besteht hauptsächlich aus **mathematischen Formeln**,

trifft überhaupt nicht zu ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 trifft voll und ganz zu

(c) Physik ist sehr **schwierig und kompliziert**.

trifft überhaupt nicht zu ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 trifft voll und ganz zu

(d) Nach meinen bisherigen Erfahrung halte ich mich für **physikalisch begabt**.

trifft überhaupt nicht zu ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 trifft voll und ganz zu

(e) Ich denke, dass mir **physikalisches Wissen** auch im **Alltag** **hilfreich** sein kann.

trifft überhaupt nicht zu ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 trifft voll und ganz zu

(f) Es ist schon vorgekommen, dass ich mir **Beobachtungen im Alltag** durch **Physikwissen** **erklären** konnte..

trifft überhaupt nicht zu ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 trifft voll und ganz zu

(g) Ich würde mir gerne **mehr Beobachtungen physikalisch** **erklären** können.

trifft überhaupt nicht zu ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 trifft voll und ganz zu

3. Bitte **bewerten** Sie Ihren eigenen **Fahrstil** (sofern Sie keinen Führerschein besitzen auch als Fahrradfahrer) anhand der folgenden gegensätzlichen Begriffspaare:

(a) unsicher ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 sicher

(b) vorsichtig ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 risikofreudig

(c) spontan ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 vorausschauend

(d) defensiv ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 aggressiv

(e) ökonomisch ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 sportlich

III. Physikalische Grundlagen

A. Einfache geradlinige Bewegungen

1. Definieren Sie bitte den physikalischen Begriff der **Geschwindigkeit (v)**:

(a) mit **Worten** (im ganzen Satz):

(b) durch eine mathematische **Formel**:

2. Definieren Sie bitte den physikalischen Begriff der **Beschleunigung (a)**:

(a) mit **Worten** (im ganzen Satz):

(b) durch eine mathematische **Formel**:

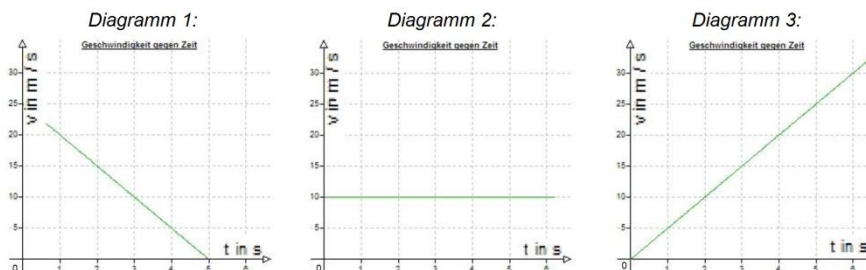
3. Bei welcher der folgenden Angaben handelt es sich um eine **Einheit** der **Geschwindigkeit**?

- ☐ m ☐ s ☐ km ☐ v ☐ h ☐ km · h ☐ a
☐ m · s ☐ m / s ☐ m² / s ☐ m / s² ☐ m² / s² ☐ km² / s ☐ m² / s³

4. Bei welcher der folgenden Angaben handelt es sich um eine **Einheit** der **Beschleunigung**?

- ☐ m ☐ s ☐ km ☐ v ☐ h ☐ km · h ☐ a
☐ m · s ☐ m / s ☐ m² / s ☐ m / s² ☐ m² / s² ☐ km² / s ☐ m² / s³

5. In den folgenden drei Diagrammen ist jeweils die **Geschwindigkeit v** gegen die **Zeit t** aufgetragen:



(a) Welches Diagramm beschreibt eine **gleichförmige Bewegung**?

- ☐ Diagramm 1 ☐ Diagramm 2 ☐ Diagramm 3 (Mehrfachantworten möglich)

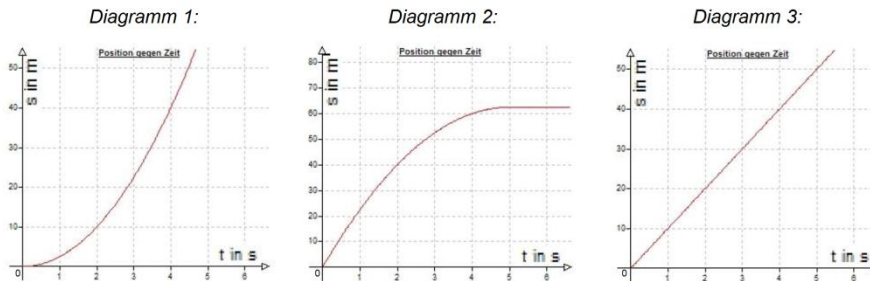
(b) Welches Diagramm beschreibt eine **gleichmäßig positiv beschleunigte Bewegung**?

- ☐ Diagramm 1 ☐ Diagramm 2 ☐ Diagramm 3 (Mehrfachantworten möglich)

(c) Welches Diagramm beschreibt eine **gleichmäßig verzögerte Bewegung** bis zum Stillstand?

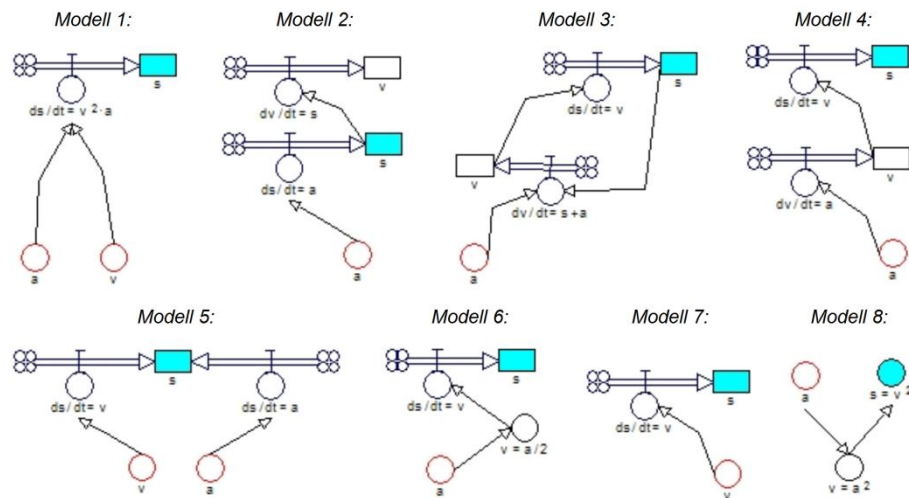
- ☐ Diagramm 1 ☐ Diagramm 2 ☐ Diagramm 3 (Mehrfachantworten möglich)

6. In den folgenden drei Diagrammen ist jeweils der **Ort s** gegen die **Zeit t** aufgetragen:



- (a) Welches Diagramm beschreibt eine **gleichförmige Bewegung**?
☐ Diagramm 1 ☐ Diagramm 2 ☐ Diagramm 3 (Mehrfachantworten möglich)
- (b) Welches Diagramm beschreibt eine **gleichmäßig positiv beschleunigte Bewegung**?
☐ Diagramm 1 ☐ Diagramm 2 ☐ Diagramm 3 (Mehrfachantworten möglich)
- (c) Welches Diagramm beschreibt eine **gleichmäßig verzögerte Bewegung** bis zum Stillstand?
☐ Diagramm 1 ☐ Diagramm 2 ☐ Diagramm 3 (Mehrfachantworten möglich)

7. Die folgenden Abbildungen zeigen physikalische Modelle in einer graphischen Symbolsprache, die nach ihrem Erfinder **Forrester-Schema** genannt wird.



- (a) Welches der Modelle beschreibt eine **gleichförmige Bewegung**?
☐ Modell 1 ☐ Modell 2 ☐ Modell 3 ☐ Modell 4 ☐ Modell 5
☐ Modell 6 ☐ Modell 7 ☐ Modell 8 ☐ wurde im Unterricht nicht behandelt
- (b) Welches der Modelle beschreibt eine **gleichmäßig beschleunigte Bewegung**?
☐ Modell 1 ☐ Modell 2 ☐ Modell 3 ☐ Modell 4 ☐ Modell 5
☐ Modell 6 ☐ Modell 7 ☐ Modell 8 ☐ wurde im Unterricht nicht behandelt

⇒ In der folgenden Tabelle sehen Sie drei Gruppen von Formeln, welche den **Ort s**, die **Geschwindigkeit v** und die **positive Beschleunigung a** ($a \geq 0$) jeweils in Abhängigkeit von der **Zeit t** beschreiben. Bitte beachten Sie, dass nicht alle Formeln etwas Sinnvolles aussagen!

Nr.	Formelgruppe A: Ort / Position	Formelgruppe B: Geschwindigkeit	Formelgruppe C: Beschleunigung
1	$s(t) = \text{const}$	$v(t) = \text{const}$	$a(t) = \text{const}$
2	$s(t) = v \cdot t$	$v(t) = s \cdot t$	$a(t) = s \cdot t$
3	$s(t) = a \cdot t$	$v(t) = a \cdot t$	$a(t) = v \cdot t$
4	$s(t) = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t^2$	$v(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$	$a(t) = \frac{1}{2} \cdot s \cdot t^2$
5	$s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$	$v(t) = -a \cdot t + v_0$	$a(t) = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t^2$
6	$s(t) = -\frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t$	$v(t) = -\frac{1}{2} a \cdot t^2 + v_0 \cdot t$	$a(t) = 0$

8. Je eine Formel aus jeder Gruppe beschreibt eine **gleichförmige Bewegung**. Welche?

(a) Aus Formelgruppe A:

☐ Formel 1 ☐ Formel 2 ☐ Formel 3 ☐ Formel 4 ☐ Formel 5 ☐ Formel 6

(b) Aus Formelgruppe B:

☐ Formel 1 ☐ Formel 2 ☐ Formel 3 ☐ Formel 4 ☐ Formel 5 ☐ Formel 6

(c) Aus Formelgruppe C:

☐ Formel 1 ☐ Formel 2 ☐ Formel 3 ☐ Formel 4 ☐ Formel 5 ☐ Formel 6

9. Je eine Formel aus jeder Gruppe beschreibt eine **gleichmäßig positiv beschleunigte Bewegung**. Welche?

(a) Aus Formelgruppe A:

☐ Formel 1 ☐ Formel 2 ☐ Formel 3 ☐ Formel 4 ☐ Formel 5 ☐ Formel 6

(b) Aus Formelgruppe B:

☐ Formel 1 ☐ Formel 2 ☐ Formel 3 ☐ Formel 4 ☐ Formel 5 ☐ Formel 6

(c) Aus Formelgruppe C:

☐ Formel 1 ☐ Formel 2 ☐ Formel 3 ☐ Formel 4 ☐ Formel 5 ☐ Formel 6

10. Je eine Formel aus jeder Gruppe beschreibt eine **gleichmäßig verzögerte Bewegung** von einer Anfangsgeschwindigkeit aus. Welche?

(a) Aus Formelgruppe A:

☐ Formel 1 ☐ Formel 2 ☐ Formel 3 ☐ Formel 4 ☐ Formel 5 ☐ Formel 6

(b) Aus Formelgruppe B:

☐ Formel 1 ☐ Formel 2 ☐ Formel 3 ☐ Formel 4 ☐ Formel 5 ☐ Formel 6

(c) Aus Formelgruppe C:

☐ Formel 1 ☐ Formel 2 ☐ Formel 3 ☐ Formel 4 ☐ Formel 5 ☐ Formel 6

B. Modelle und Systeme

1. Was sollte ein **gutes physikalisches Modell leisten**? Bitte nennen Sie im Folgenden **drei Aspekte**, die Sie für wichtig halten.

(a) Ein gutes physikalisches Modell sollte...

(b) Ein gutes physikalisches Modell sollte...

(c) Ein gutes physikalisches Modell sollte...

2. Stellen Sie sich vor, Sie sind Experimentalphysiker. Ein Kollege aus der theoretischen Physik hat ein neues **Theoriemodell** entworfen und daraus einige interessante **Hypothesen abgeleitet**, die Sie nun **experimentell überprüfen** sollen. Welche der folgenden Aussagen trifft zu?

Aussage A: Wird die Vermutung durch das Experiment **bestätigt**, ist die Hypothese damit eindeutig **bewiesen**.

Aussage B: Wird die Vermutung durch das Experiment **nicht bestätigt**, ist die Hypothese damit eindeutig **widerlegt**.

☐ Nur Aussage A ist richtig

☐ Nur Aussage B ist richtig

☐ Beide Aussagen sind richtig

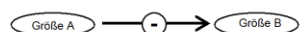
☐ Beide Aussagen sind falsch

3. Stellen Sie sich nun vor, Sie sind Verkehrsforscher und sollen ein **Modell für die mittlere Verkehrsdichte** einer bestimmten Autobahn, nennen wir sie A1000, erstellen. Dazu überlegen Sie sich Folgendes:

Je **schneller** man im Durchschnitt auf der Autobahn vorankommt, desto häufiger werden Autofahrer sie **nutzen**. Je häufiger die Autobahn genutzt wird, desto höher ist die **mittlere Verkehrsdichte**. Je höher die mittlere Verkehrsdichte, desto größer die Wahrscheinlichkeit dass sich **Staus** bilden. Je häufiger es Staus gibt, desto geringer die **Geschwindigkeit**, mit der man die Autobahn im Durchschnitt befahren kann.

Zur Darstellung des Modells verwenden Sie eine graphische Symbolsprache: **Systemgrößen** werden als **Ovale** dargestellt, die **Beeinflussung** einer Größe B durch eine Größe A durch **Pfeile**, und zwar in dieser Art:


 wird A größer, wird B auch größer


 wird A größer, wird B kleiner

- (a) Bitte **vervollständigen Sie das folgende Modell** unter Verwendung dieser Symbolsprache:



- (b) Wie wird sich die **mittlere Verkehrsdichte** auf der A1000 nach diesem Modell vermutlich **entwickeln**?

☐ Die mittlere Verkehrsdichte wird **stetig steigen**. ☐ Die mittlere Verkehrsdichte wird **stetig fallen**.

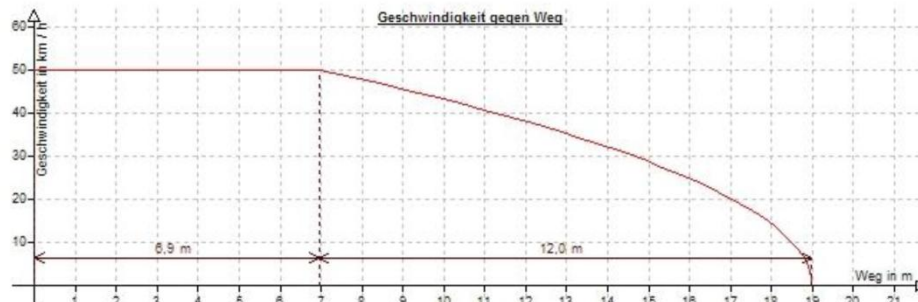
☐ Es wird sich ein **Durchschnittswert** einstellen, um den die mittlere Verkehrsdichte **schwankt**.

☐ Die mittlere Verkehrsdichte wird **konstant** bleiben. ☐ Kann man **nicht vorhersagen**.

IV. Probleme aus dem Straßenverkehr

A. Physikalische Probleme

1. Ein PKW fährt mit **50 km/h** durch eine geschlossene Ortschaft, als plötzlich ein Fahrradfahrer aus einer Hofeinfahrt auf die Fahrbahn fährt, ohne auf den fließenden Verkehr zu achten. Der Fahrer des PKW führt daher eine **Gefahrbremsung** aus. Im nachfolgenden Diagramm ist die Geschwindigkeit des PKW gegen den zurückgelegten Weg aufgetragen, wobei die Aufzeichnung beim Auftauchen der Gefahr beginnt.



- (a) Wie lang ist der **Bremsweg** des PKW?
 1 ☐ 5,1 m 2 ☐ 6,9 m 3 ☐ 12,0 m 4 ☐ 18,9 m 5 ☐ 50,0 m
- (b) Wie lang ist der **Anhalteweg** des PKW?
 1 ☐ 5,1 m 2 ☐ 6,9 m 3 ☐ 12,0 m 4 ☐ 18,9 m 5 ☐ 50,0 m
- (c) Wie lang ist der **Reaktionsweg** des PKW?
 1 ☐ 5,1 m 2 ☐ 6,9 m 3 ☐ 12,0 m 4 ☐ 18,9 m 5 ☐ 50,0 m
- (d) Welche **Reaktionszeit** benötigte der Fahrer des PKW?
 1 ☐ 0,25 s 2 ☐ 0,50 s 3 ☐ 0,75 s 4 ☐ 1,00 s 5 ☐ 1,50 s 6 ☐ 2,00 s
- (e) Welche Art von **Bewegung** führt das Fahrzeug auf dem **Reaktionsweg** aus?
 1 ☐ gleichförmige Bewegung 2 ☐ gleichmäßig positiv beschleunigte Bewegung
 3 ☐ gleichmäßig verzögerte Bewegung 4 ☐ gleichförmige Kreisbewegung
- (f) Welche Art von **Bewegung** führt das Fahrzeug auf dem **Bremsweg** aus?
 1 ☐ gleichförmige Bewegung 2 ☐ gleichmäßig positiv beschleunigte Bewegung
 3 ☐ gleichmäßig verzögerte Bewegung 4 ☐ gleichförmige Kreisbewegung
2. Ein Testfahrer führt mit einem PKW nacheinander Testbremsungen unter genau identischen Bedingungen aus, wobei er stets während des gesamten Bremsvorgangs die gleiche Bremsverzögerung erreicht. Er beginnt mit **20 km/h** und erreicht einen **Bremsweg von 2 m**.
- (a) Wie lang ist der **Bremsweg** bei **40 km/h**?
 1 ☐ 2 m 2 ☐ 4 m 3 ☐ 6 m 4 ☐ 8 m 5 ☐ 12 m 6 ☐ 16 m 7 ☐ 24 m 8 ☐ 32 m 9 ☐ 48 m 10 ☐ 64 m
- (b) Wie lang ist der **Bremsweg** bei **80 km/h**?
 1 ☐ 2 m 2 ☐ 4 m 3 ☐ 6 m 4 ☐ 8 m 5 ☐ 12 m 6 ☐ 16 m 7 ☐ 24 m 8 ☐ 32 m 9 ☐ 48 m 10 ☐ 64 m
3. Was gilt bei zunehmender Geschwindigkeit für das **Verhältnis** von **Reaktionsweg** und **Bremsweg**?
 1 ☐ Das Verhältnis bleibt konstant.
 2 ☐ Der Anteil des Reaktionsweges am Anhalteweg wird größer.
 3 ☐ Der Anteil des Bremsweges am Anhalteweg wird größer.

4. Zwei genau gleiche Fahrzeuge fahren nebeneinander auf einer mehrspurigen Stadtstraße. Das rechte hält die vorgeschriebene Geschwindigkeit von **50 km/h** ein, das linke überholt mit **70 km/h**. Als beide Fahrzeuge auf gleicher Höhe sind, springt plötzlich ein Kind auf die Fahrbahn. Beide Fahrer sind aufmerksam und reagieren nach **0,5 s**. Der rechte kommt genau vor dem Kind zum Stehen, der linke schafft es nicht mehr.

(a) Wie hoch schätzen Sie die **Aufprallgeschwindigkeit**, mit der das linke Fahrzeug das Kind trifft?

- ☐ 0-10 km/h ☐ 10-20 km/h ☐ 20-30 km/h ☐ 30-40 km/h
☐ 40-50 km/h ☐ 50-60 km/h ☐ 60-70 km/h

(b) Wie hoch schätzen Sie die **Chance**, dass ein 8 Jahre altes Kind einen Frontalaufprall mit dieser Geschwindigkeit **überlebt**?

- ☐ 0-20 % ☐ 20-40 % ☐ 40-60 % ☐ 60-80 % ☐ 80-100 %

5. Jonas ist in der Ausbildung und kommt zu spät zu einem Seminar. Zur Rechtfertigung berichtet er über seine Anreise: „Erst habe ich schon **15 min** von zuhause bis zur Autobahn gebraucht – wegen der vielen **Ampeln**. Dann konnte ich gerade mal **5 min** mit **150 km/h** fahren, dann war erstmal **10 min Stau**. Die restliche **5 min** bis zur Ausfahrt war dann eh Tempo **100 km/h**, und nach der Abfahrt musste ich dann noch **10 min** durch eine **Tempo-30-Zone**. Spitze!“. Da der Firmenwagen einen Fahrtenschreiber besitzt, können seine Ausbilder den Bericht überprüfen. Welcher der folgenden drei Ausgaben von Fahrtenschreibern stimmt am realistischsten mit Jonas' Bericht überein?

- ☐ Ausdruck 1 ☐ Ausdruck 2 ☐ Ausdruck 3 ☐ keiner der Ausdrücke

Ausdruck 1:



Ausdruck 2:

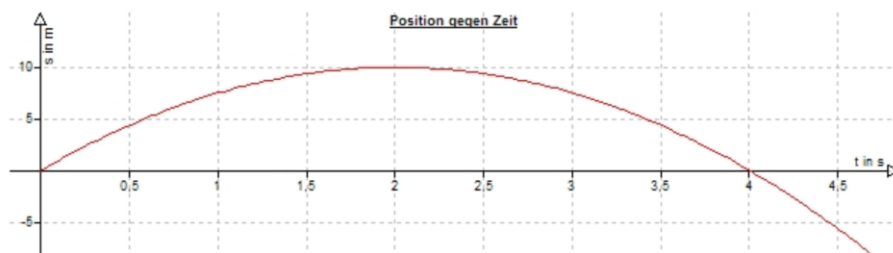


Ausdruck 3:



6. In der Fahrschule wird für den **Sicherheitsabstand** zum vorausfahrenden Fahrzeug oft die Faustformel „halber Tachoabstand“ vermittelt. Welche der folgenden Aussagen über diesen Abstand treffen zu?
- (a) Wird dieser Abstand eingehalten, kann das Fahrzeug **vor einem plötzlich** (außerhalb dieses Abstandes) **auftauchenden Hindernis** sicher zum Stehen gebracht werden.
☐ Richtig ☐ Falsch
- (b) Wird dieser Abstand eingehalten, kann ein Auffahrunfall vermieden werden, wenn **das vorausfahrende** (gleichwertige) **Fahrzeug auf ein stehendes Hindernis prallt**.
☐ Richtig ☐ Falsch
- (c) Wird dieser Abstand eingehalten, kann **bei einer plötzlichen Vollbremsung** des vorausfahrenden (gleichwertigen) Fahrzeugs ein Auffahrunfall vermieden werden.
☐ Richtig ☐ Falsch
- (d) Der Abstand entspricht der **doppelten Fahrzeuglänge**.
☐ Richtig ☐ Falsch
- (e) Der Abstand entspricht dem **Reaktionsweg** bei einer Reaktionszeit von **1,0 s**.
☐ Richtig ☐ Falsch
- (f) Der Abstand entspricht dem **Reaktionsweg** bei einer Reaktionszeit von **1,8 s**.
☐ Richtig ☐ Falsch

7. Ein Fahrzeug hat eine Bewegung auf einer geraden Strecke ausgeführt. Dabei wurde per Videoüberwachung die **Position s** des Fahrzeuges auf der Strecke in Abhängigkeit von der vergangenen **Zeit t** bestimmt. Dabei ergab sich folgendes Diagramm:



Welche der folgenden Bewegungsbeschreibungen würde sich mit diesem Diagramm decken?

- ☐ Der Wagen hat erst 2 s lang beschleunigt, dann 2 s lang gebremst.
- ☐ Der Wagen hat erst 2 s lang vorwärts, dann 2 s lang rückwärts beschleunigt.
- ☐ Der Wagen ist im Leerlauf eine Schräge hinauf- und rückwärts wieder heruntergerollt.
- ☐ Der Wagen hat eine Vollbremsung durchgeführt.
8. Was versteht der Verkehrsphysiker unter dem Begriff **Haftgrenze**?
- ☐ **Grenzmarkierung** am Straßenrand, bei deren Überfahren die **Haftung des Reifens** auf der Fahrbahn nicht mehr gewährleistet ist.
- ☐ **Grenzwert** der **Beschleunigung** des Fahrzeugs, bei dessen Überschreitung die **Haftung des Reifens** auf der Fahrbahn nicht mehr gewährleistet ist.
- ☐ **Grenzwert** der gefahrenen **Geschwindigkeit**, bei dessen Überschreitung der Fahrer mit einer **Haftstrafe** rechnen muss.
- ☐ **Grenzwert** des entstandenen **Unfallschadens**, bei dessen Überschreitung die **Haftpfllichtversicherung** des Fahrers nicht mehr in voller Höhe zahlungspflichtig ist.

B. Gefahren im Straßenverkehr

⇒ In einigen der folgenden Fragen werden Sie gebeten, Einschätzungen zu geben. Bitte geben Sie Ihre Antworten auf einer Skala von 1 bis 6:

1. Welche Gruppe von **Fahrzeugführern** ist Ihrer Einschätzung nach besonders häufig (relativ zur gefahrenen Entfernung) **schuldhaft an schweren Verkehrsunfällen** beteiligt?

(a) Männliche Fahrer

sehr selten 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr häufig*

(b) Weibliche Fahrerinnen

sehr selten 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr häufig*

(c) Fahranfänger (18 bis 24 Jahre)

sehr selten 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr häufig*

(d) Senioren (über 60 Jahre)

sehr selten 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr häufig*

(e) Berufskraftfahrer (LKW, Busse...)

sehr selten 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr häufig*

2. In der Bundesrepublik Deutschland sind im Jahr 2003 über 6000 Menschen im Straßenverkehr ums Leben gekommen. Wie häufig spielten Ihrer Einschätzung nach die folgenden **Risikofaktoren** dabei eine entscheidende Rolle?

(a) Konsum von **Alkohol / Drogen** vor Fahrantritt

sehr selten 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr häufig*

(b) **Mobiltelefonieren** während der Fahrt

sehr selten 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr häufig*

(c) **Technische Mängel** am Fahrzeug

sehr selten 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr häufig*

(d) Fehler beim **Überholen**

sehr selten 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr häufig*

(e) Nicht angepasste **Geschwindigkeit**

sehr selten 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr häufig*

(f) Fehler beim **Abbiegen / Wenden / Rückwärts Fahren**

sehr selten 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr häufig*

(g) Ablenkung durch **Beifahrer / Mitfahrer** im Fahrzeug

sehr selten 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr häufig*

3. Welche der folgenden **Maßnahmen** halten Sie für **geeignet**, um die Zahl **tödlicher Unfälle** auf deutschen Straßen zu **verringern**?

(a) **Höchstgeschwindigkeit** 130 km/h auf allen **Autobahnen**

völlig ungeeignet 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr gut geeignet*

(b) Mehr **Tempo-30-Zonen** in Wohngebieten

völlig ungeeignet 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr gut geeignet*

(c) Ein dichteres Netz **stationärer Geschwindigkeitskontrollen** (Starenkästen)

völlig ungeeignet 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr gut geeignet*

- (d) Häufigere Geschwindigkeitskontrollen mit sofortiger Konsequenz (Anhalten, Geldbuße, Führerscheinentzug)
völlig ungeeignet 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr gut geeignet*
- (e) **Aufklärung** über konkret vorliegendes Unfallrisiko nach **Geschwindigkeitsüberschreitungen**
völlig ungeeignet 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr gut geeignet*
- (f) Höhere **Geldbußen** für sicherheitsrelevante Verkehrsverstöße
völlig ungeeignet 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr gut geeignet*
- (g) Bessere **Aufklärung** über Unfallrisiken durch **Schulen / Fahrschulen**
völlig ungeeignet 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr gut geeignet*
- (h) Mehr / bessere **Simulator-Fahrten** in Fahrschulen
völlig ungeeignet 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr gut geeignet*
- (i) Regelmäßige verpflichtende Trainingseinheiten auf **Verkehrsübungsplätzen** für alle Führerscheinbesitzer
völlig ungeeignet 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr gut geeignet*
- (j) Regelmäßige (altersabhängige) **Nachprüfungen** für alle Führerscheinbesitzer
völlig ungeeignet 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr gut geeignet*
- (k) Verbesserung **passiver Sicherheitseinrichtungen** in Fahrzeugen (Gurt, Airbag, Seitenaufprallschutz, ...)
völlig ungeeignet 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr gut geeignet*
- (l) Verbesserung **aktiver / autonomer Sicherheitseinrichtungen** in Fahrzeugen (ABS, ESP, ASR, ...)
völlig ungeeignet 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *sehr gut geeignet*
-
4. Sie fahren mit einer Geschwindigkeit von **180 km/h** über eine gut ausgebaute, dreispurige Autobahn. Bitte geben Sie Ihre **Einschätzung** zu folgenden Aussagen:
- (a) Ich traue mir zu, das Fahrzeug bei dieser Geschwindigkeit **technisch zu beherrschen**.
trifft überhaupt nicht zu 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *trifft voll und ganz zu*
- (b) Durch eine gute **Reaktionszeit** kann ich mein **Unfallrisiko** deutlich **senken**.
trifft überhaupt nicht zu 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *trifft voll und ganz zu*
- (c) Ich denke, ich kann die **möglichen Folgen eines Unfalls** bei dieser Geschwindigkeit gut **einschätzen**.
trifft überhaupt nicht zu 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *trifft voll und ganz zu*
- (d) Mein **Risiko**, einen Unfall zu verursachen, ist **geringer**, wenn mir die **Strecke gut bekannt** ist.
trifft überhaupt nicht zu 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ *trifft voll und ganz zu*
-
5. Stellen Sie sich vor, Sie sind **wissenschaftlicher Berater** des Verkehrsministeriums und sollen einen Entwurf für den **Straßenverkehr im Jahr 2060** erstellen, mit dem alle heutigen Probleme gelöst sind. Beschreiben Sie bitte kurz Ihre Ideen.

C. Reflexion der Unterrichtsreihe

⇒ Bitte **bewerten** Sie die einzelnen Bestandteile der vorausgegangenen Unterrichtsreihe zum Thema „Mechanik und Verkehr“ auf einer Skala von 1 bis 6:

1. Waren Inhalt und Art der Darbietung für Sie **interessant** oder ansprechend?

2. Wie gut **verständlich** wurden die Inhalte vermittelt?

(a) Besuch der **Polizei** zum Einstieg

völlig uninteressant 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr interessant 7 ☐ nicht stattgefunden

schwer verständlich 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr gut verständlich

(b) Auswertung eines polizeilichen **Unfallberichtes**

völlig uninteressant 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr interessant 7 ☐ nicht stattgefunden

schwer verständlich 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr gut verständlich

(c) **Schülerversuche** / Lernstationen

völlig uninteressant 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr interessant 7 ☐ nicht stattgefunden

schwer verständlich 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr gut verständlich

(d) **Lehrerexperimente** / frontal

völlig uninteressant 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr interessant 7 ☐ nicht stattgefunden

schwer verständlich 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr gut verständlich

(e) **Mathematische** Auswertungen / Herleitung von Formeln

völlig uninteressant 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr interessant 7 ☐ nicht stattgefunden

schwer verständlich 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr gut verständlich

(f) Erstellen und Auswerten von **Diagrammen**

völlig uninteressant 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr interessant 7 ☐ nicht stattgefunden

schwer verständlich 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr gut verständlich

(g) **Modellbildung** mit und ohne Computer

völlig uninteressant 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr interessant 7 ☐ nicht stattgefunden

schwer verständlich 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr gut verständlich

(h) **Unfallsimulation** mit dem Computer

völlig uninteressant 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr interessant 7 ☐ nicht stattgefunden

schwer verständlich 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr gut verständlich

(i) Bearbeiten von **Übungsaufgaben**

völlig uninteressant 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr interessant 7 ☐ nicht stattgefunden

schwer verständlich 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr gut verständlich

(j) Besuch der **Polizei** zum Abschluss / Rollenspiel

völlig uninteressant 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr interessant 7 ☐ nicht stattgefunden

schwer verständlich 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ sehr gut verständlich

3. Hat Ihnen – alles in allem – die Unterrichtsreihe gefallen?

nein, überhaupt nicht 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ ja, sehr gut

5.2.3 *Beiliegender Datenträger*

Der gedruckten Version der Arbeit liegt eine CD-ROM als Datenträger bei. Hierauf befinden sich folgende Materialien:

- Die vorliegende Arbeit als PDF-Datei, lesbar mit dem Adobe Reader,
- Die Lernsoftware „Mechanik und Verkehr“ in den Versionen 1.0.5 und 2.0.0 in Form einer ausführbaren Setup-Datei für Microsoft® Windows® mit 32 Bit,
- die verwendeten Arbeitsmaterialien für Schüler und Lehrer zu Durchführung der beschriebenen Unterrichtsreihe als Dokumente für Microsoft® Word® 2003,
- der Fragebogen für die Schüler zur Evaluation der Software und der Unterrichtsreihe als PDF-Datei, lesbar mit dem Adobe Reader,
- sämtliche erhobenen Daten in Form einer Microsoft® Access® -Datenbank, in welche die Angaben der Schüler im Fragebogen nach Fragenummern geordnet übertragen wurden, sowie
- die Programme, mit denen die Aufbereitung und statistische Auswertung der empirischen Daten durchgeführt wurde, sowohl als Quellcode für Microsoft® Visual Basic® 6.0, als auch in Form einer ausführbaren Datei.

Für Leser der digitalen Version der Arbeit stellt der Autor die beschriebenen Materialien gerne zur Verfügung. Um eine Kontaktaufnahme über die Universität Duisburg-Essen wird gebeten.

5.3 Tabellarischer Lebenslauf

<i>Persönliche Daten</i>	
Name:	Alexander Michael Busse, geboren am 26.08.1971 in Mülheim an der Ruhr.
Vater:	Manfred Klaus Busse, geboren am 14.02.1935 in Mülheim an der Ruhr.
Mutter:	Edelgard Busse, geborene Goebels, geboren am 09.06.1938 in Oberhausen.
Konfession:	römisch-katholisch
Familienstand:	verheiratet seit 02.07.2004.
Ehefrau:	Eva Maria Christina Busse, geborene Kirschner, geboren am 02.07.1974 in Essen.
Anschrift:	Geibelstraße 58, 45472 Mülheim an der Ruhr.
<i>Bildungsweg</i>	
01.08.1978 – 14.07.1982	<i>Grundschule:</i> Luisenschule, Glockenstraße 25, Oberhausen.
01.09.1982 – 29.06.1991	<i>Gymnasium:</i> Heinrich-Heine-Gymnasium, Lohstraße 29, Oberhausen.
19.06.1991	Allgemeine Hochschulreife mit den Leistungskursen Physik und Mathematik sowie den Fächern Deutsch und Philosophie.
02.09.1991 – 22.10.1992	<i>Zivildienst:</i>
01.03.1994 – 08.04.1994	Städtische Tageseinrichtung für Kinder, Hans-Böckler-Platz 11, Mülheim an der Ruhr.
12.10.1992 – 09.11.1999	<i>Studium:</i> Studium des Lehramtes für die Sekundarstufe II in den Fächern Physik und Philosophie an der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg, Lotharstraße 1, Duisburg
09.11.1999	Erstes Staatsexamen

01.02.2000 – 31.01.2002	<i>Referendariat:</i> Studienseminar für die Sekundarstufe II, am Kaisergarten 52, Oberhausen; Ausbildungsschule: Andreas-Vesalius-Gymnasium, Ritterstraße 4, Wesel
31.01.2002	Zweites Staatsexamen
01.02.2002 – 31.12.2005	<i>Hochschultätigkeit:</i> Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Universität Duisburg-Essen, Lotharstraße 1, Duisburg, in den Arbeitsgruppen Didaktik der Physik sowie Technologie und Didaktik der Technik.
01.02.2002 – 07.08.2006	<i>Promotion:</i> Betreuung durch Prof. Dr. Horst Harreis, nach dessen Tod am 02.11.2002 durch Prof. Dr. Norbert Treitz.
23.01.2006	Einreichung der Dissertation
07.08.2006	Disputation
<i>Nebentätigkeiten</i>	
03.08.1998 – 31.12.2000	<i>Werksstudent:</i> Corporate Network Essen, Am Alfredusbad 8, Essen; Technische Schulungen für Supportmitarbeiter, Konzeption und Entwicklung einer Kundenverwaltung sowie einer Supportdatenbank inklusive Trouble Ticket, technische Fortbildungsangebote für Lehrer.
10.05.2000 – 31.12.2000	<i>Wissenschaftliche Hilfskraft:</i> Projekt „Component Oriented Learning Environment“ der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg, gefördert vom UVM, geleitet von Prof. Dr. Horst Harreis.
01.06.2001 – 31.01.2002	<i>Wissenschaftliche Hilfskraft:</i> Projekt „Mechanik und Verkehr“ der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg, gefördert vom UVM, geleitet von Prof. Dr. Horst Harreis.
seit 30.06.2003	<i>Referententätigkeit:</i> Fortbildungen für Verkehrssicherheitsberater der Polizei, Institut für Aus- und Fortbildung der Polizei NRW, Bildungszentrum Neuss, Hammfelddamm 7a, Neuss

5.4 Danksagung

Zunächst danke ich Prof. Dr. Gernot Born, der mir als Leiter der Arbeitsgruppe die Möglichkeit gegeben hat, dieses Promotionsvorhaben durchzuführen und sich mit großem Engagement für meine Interessen eingesetzt hat. Nicht weniger zu danken habe ich Prof. Dr. Norbert Treitz, der als Betreuer dieser Arbeit mit viel Geduld und Liebe zum Detail den Fortgang meiner Promotionsbemühungen begleitet hat. Eine wichtige Rolle spielte auch Dr. André Bresges, der das Projekt geleitet und mit großem Einsatz nach außen vertreten hat, und mit dem ich etliche Konferenzen und Veröffentlichungen gemeinsam bestritten habe. Außerdem möchte ich mich bedanken bei Prof. Dr. Hans-Peter Musahl vom Institut für Kognition und Kommunikation, der seine Forschungsergebnisse aus dem Bereich der Gefahrenkognition im Straßenverkehr zur Verfügung gestellt hat, Stefan Hoffmann, der in tagelanger Arbeit die Fragebögen erfasst hat, und bei Dr. Roald Opitz, der die zeichnerischen Vorlagen für einige Fahrzeuge in der Lernsoftware entworfen hat.

Aus dem Bereich der Polizei gilt mein Dank vor allem den Polizeioberkommissaren Michael Ronsieck und Hans-Georg Tromm als Verkehrssicherheitsberatern der Polizei Mülheim an der Ruhr, mit denen sich im Laufe der Jahre eine sehr enge, vertrauensvolle und produktive Zusammenarbeit entwickelt hat, und Kriminalhauptkommissarin Annchen Brendle, die als Leiterin des Kommissariats Vorbeugung das Kooperationsprojekt aktiv unterstützt hat. Außerdem danke ich Peter Röhrig, der als leitender Polizeidirektor im Innenministerium eine Reihe nützlicher Kontakte vermittelt hat, und Bernd Wiechert, der als Leiter der Verkehrssicherheitsberatung im Institut für Aus- und Fortbildung der Polizei in Neuss die Verteilung der Software innerhalb der Polizei NRW organisiert hat. Ich danke auch Polizeioberkommissar Rolf Holz, der das Projekt als festen Bestandteil der Ausbildung der Verkehrssicherheitsberater der Polizei in NRW etabliert hat, und Polizeioberkommissar Schierock, der mit mir geduldig das Unfallarchiv der Polizei durchsucht hat.

Aus dem Bereich der Schule danke ich zunächst Ralf Moock, der als Fachleiter während meines Referendariates wertvolle Beiträge zum Projekt geliefert hat. Außerdem möchte ich allen Lehrerinnen und Lehrern danken, die mich bei meinen empirischen Studien in der Schule aktiv unterstützt haben: Maria Zischka vom Berufkolleg Saarn, Detlef Müller vom Gymnasium Broich, Wilhelm Funk und Manfred Sbresny von der Luisenschule, Heribert Müller vom Karl-Ziegler-Gymnasium, Georg Steinert und Werner Intven von der Gustav-Heinemann-Gesamtschule und natürlich auch den Lehrern, die ihre Kurse freundlicherweise als Vergleichsgruppen zur Verfügung gestellt haben. Mein Dank gilt natürlich auch den Schulleitern, die es mir freundlicherweise ermöglicht haben, an ihren Schulen meine Studien durchzuführen.

Nicht zuletzt möchte ich mich auch bei meiner Frau Eva, meinen Eltern, meinen Schwiegereltern und meinen Freunden bedanken, die nicht nur bei zahlreichen Gelegenheiten auf meine Anwesenheit verzichten mussten, sondern gerade in den letzten Monaten viele Probleme von mir fern gehalten und mich aktiv unterstützt haben.

Mein ganz besonderer Dank gilt schließlich Prof. Dr. Horst Harreis (*15.05.1940 - †02.11.2002), der das Projekt ins Leben gerufen und mich für das Promotionsvorhaben gewonnen und begeistert hat. Seit vielen Jahren war ihm die Verkehrsphysik ein ganz besonderes Anliegen. Dabei setzte er auch in Vorgängerprojekten bereits auf den Einsatz des Computers und die Kooperation mit der Polizei. Ich bedaure zutiefst, dass er die Fertigstellung dieser Dissertation nun nicht mehr miterleben kann.

„Die Beherrschbarkeit des Straßenverkehrs macht also ein bestimmtes Verhalten notwendig, welches von den Naturgesetzen und nicht von Willkür bestimmt wird.“

Rolf Phlippen, verunglückt im Juli 1997